



TUGAS AKHIR - (RC14 - 1501)

DESAIN MODIFIKASI STRUKTUR GEDUNG APARTEMEN GRAND DHIKA CITY TOWER EMERALD MENGUNAKAN *BASE ISOLATOR* DENGAN *NONLINEAR TIME HISTORY ANALYSIS*

FAHMI ABDULAZIZ

NRP 3113100021

Dosen pembimbing

Dr. Ir. Hidayat Soegihardjo M., MS

Prof. Tavio, ST. MT. Ph.D

DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL

Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya 2017



TUGAS AKHIR - (RC14 - 1501)

**DESAIN MODIFIKASI STRUKTUR GEDUNG
APARTEMEN GRAND DHIKA CITY TOWER EMERALD
MENGUNAKAN *BASE ISOLATOR* DENGAN
*NONLINEAR TIME HISTORY ANALYSIS***

FAHMI ABDULAZIZ

NRP 3113100021

Dosen Pembimbing

Dr. Ir. Hidayat Soegihardjo M., MS

Prof. Tavio, ST. MT. Ph.D

JURUSAN TEKNIK SIPIL

Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya 2017



FINAL PROJECT - (RC14 - 1501)

DESIGN MODIFICATION OF GRAND DHIKA CITY EMERALD TOWER BUILDING STRUCTURE USING BASE ISOLATOR WITH NONLINEAR TIME HISTORY ANALYSIS

FAHMI ABDULAZIZ

NRP 3113100021

Major Supervisor

Dr. Ir. Hidayat Soegihardjo M., MS

Prof. Tavio, ST. MT. Ph.D

CIVIL ENGINEERING DEPARTMENT

Faculty of Civil Engineering and Planning

Sepuluh Nopember Institute of Technology

Surabaya 2017

**DESAIN MODIFIKASI STRUKTUR GEDUNG
APARTEMEN GRAND DHIKA CITY TOWER
EMERALD MENGGUNAKAN *BASE ISOLATOR*
DENGAN *NONLINEAR TIME HISTORY ANALYSIS***

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat

Memperoleh Gelar Sarjana Teknik

Pada

Bidang Studi Struktur

Program Studi S-1 Jurusan Teknik Sipil

Fakultas Teknik Sipil Dan Perencanaan

Institute Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

FAHMI ABDULAZIZ

NRP. 3113100021

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir

1. Dr. Ir. Hidayat Suprihardjo, MS (Pembimbing I)

2. Tavo, Prof., ST., MT., PhD (Pembimbing II)



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

Desain Modifikasi Gedung Apartemen Grand Dhika City Tower Emerald Menggunakan *Base Isolator* dengan *Nonlinear Time History Analysis*

Nama Mahasiswa : Fahmi Abdulaziz

NRP : 3113100021

Jurusan : Teknik Sipil

**Dosen Pembimbing : Dr. Ir. Hidayat Soegihardjo., MS
Tavio, Prof., ST., MT., Ph.D**

Abstrak

Seiring berkembangnya teknologi, banyak metode yang dapat digunakan untuk meredam beban gempa. Salah satu yang cocok digunakan di Indonesia adalah metode *base isolator*. Konsep *base isolator* adalah dengan memperkecil kekakuan gedung tanpa melemahkan elemen dari gedung.

Perencanaan gedung ini tidak hanya dimodifikasi menggunakan *base isolator*, tetapi juga dianalisa menggunakan *nonlinear time history analysis* (NTLHA). Dengan metode NLTHA terbukti *output* yang dihasilkan lebih tepat. Karena dengan metode NTLHA struktur tidak hanya dihitung pada saat elastis saja, tetapi juga fase pasca-elastis.

Pada tugas akhir ini, perencanaan elemen beton bertulang mengacu pada SNI 2847-2013. untuk perencanaan beban gravitasi, seperti beban mati dan beban hidup menggunakan tata cara perhitungan pembebanan untuk bangunan gedung (SNI 03-1727-2012), dan untuk perencanaan beban lateral, seperti beban gempa menggunakan tata cara perencanaan ketahanan gempa (SNI 03-1726-2012).

Kata Kunci: *Base isolator*, Fase Elastis, *Nonlinear Time History Analysis*, Fase Plastis, Beton Bertulang

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

Design of Modification of Grand Dhika City Emerald Tower Building Structure Using Base Isolator with Nonlinear Time History Analysis

Name : Fahmi Abdulaziz
ID Number : 3113100021
Department : Civil Engineering
Supervisor : Dr. Ir. Hidayat Soegihardjo, MS.
Prof. Tavio, S.T. M.T. Ph.D.

Abstract

In the development of technology, there are many ways that can be used to dissipate the earthquake energy or force that striking the buildings. One of the new technologies that can be implemented in Indonesia is the base isolator. The principle of base isolator is by reducing the building stiffness without reducing the resistance of the structural members such as columns and beams.

The design of the building is not only using the base isolator, but also analyzed with the nonlinear time history analysis (NTLHA). By using the NLTHA, it is proven that it gives more accurate results since with NLTHA does not only calculate in the elastic phase, but also in the plastic phase.

In the final project, the design of concrete structure complies with SNI 2847:2013. Gravity load such as dead load and live load is assigned based on PPIUG and SNI 1727:2013. The lateral load such as earthquake load is assigned based on SNI 1726:2012.

Keywords: Base isolator, Elastic Phase, Nonlinear Time History Analysis, Plastic Phase, Reinforced Concrete.

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Allah SWT. atas segala rahmat dan kasih sayang-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul "Desain Modifikasi Struktur Gedung Apartemen Grand Dhika City Tower Emerald Menggunakan *Base Isolator* dengan *Nonlinear Time History Analysis*". Tugas Akhir ini disusun penulis dalam rangka memenuhi salah satu syarat kelulusan di Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan ITS.

Selama proses penyusunan Tugas Akhir ini, penulis mendapatkan banyak bimbingan, dukungan dan pengarahan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, dengan segala kerendahan hati dan rasa hormat yang besar penulis menyampaikan rasa terima kasih yang tulus dan sebesar-besarnya kepada:

1. Orang tua dan keluarga terkasih yang selalu memberikan dukungan baik moril dan materil, dan menjadi motivasi penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
2. Bapak Dr. Ir. Hidayat Soegihardjo M., MS dan bapak Tavo., Prof., ST., MT., Ph.D yang membantu dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
3. Seluruh civitas akademika Teknik Sipil ITS atas imu dan bantuan yang telah diberikan
4. Teman teman CEITS 2013, MDG, SF, dan SCC yang selalu mendukung saya

Penulis menyadari bahwa dalam proses penyusunan Tugas Akhir ini banyak terdapat kekurangan, oleh karena itu kritik dan saran dari berbagai pihak sangat diharapkan demi kesempurnaan tugas akhir ini. Penulis berharap laporan ini nantinya dapat memberikan manfaat bagi semua pihak.

penyusun

DAFTAR ISI

Abstrak	i
Abstract	iii
DAFTAR ISI	v
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL	xii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan	3
1.4 Batasan Masalah.....	4
1.5 Manfaat	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Daktalitas Struktur Bangunan	5
2.2 Base Isolator Elastomeric Rubber Bearing	5
2.3 Sendi Plastis	7
2.4 Time History	9
2.5 Kurva Tegangan-Regangan Material	10
2.5.1. Kurva Tegangan-Regangan Beton	10
2.5.2. Kurva regangan-tegangan tulangan baja	11
2.6 P-Delta Analysis.....	12
2.7 Faktor Reduksi Struktur dengan Base Isolator.....	13
BAB III METODOLOGI.....	15
3.1 Prosedur Pengerjaan Tugas Akhir.....	15
3.1.1 Studi Literatur	15
3.1.2 Pengumpulan Data	15

3.1.3	Preliminary Design.....	17
3.1.4	Pembebanan	17
3.1.5	Analisa Respon Spektrum	19
3.1.6	Analisa struktur menggunakan NLTHA	23
3.2	Penyajian Laporan dan Format Penggambaran.....	24
3.3	Flowchart Penyusunan Tugas Akhir	25
BAB IV ANALISA DAN PERENCANAAN STRUKTUR ATAS		27
4.1	Preliminary Deign	27
4.1.1	Balok Anak.....	27
4.1.2	Plat.....	27
4.1.3	Kolom.....	34
4.1.4	Balok Induk	35
4.1.5	Tangga.....	36
4.2	Perencanaan Struktur Sekunder	36
4.2.1	Perencanaan Balok Anak	36
4.2.2	Perencanaan Plat	41
4.2.3	Perencanaan Tangga.....	47
4.3	Pembebanan dan Analisa Struktur	49
4.3.1	Umun.....	49
4.3.2	Permodelan Struktur.....	50
4.3.3	Pembebanan Gravitasi	50
4.3.4	Penentuan Kelas Situs	52
4.3.5	Grafik Respon Spektrum.....	54
4.3.6	Perhitungan Nilai T_D , T_M , D_D dan D_M	58
4.3.7	Sendi Plastis	64

4.3.8	Pembebanan Gempa Nonlinear Time History	66
4.3.9	Kontrol Partisipasi Massa.....	70
4.3.10	Kontrol Base Shear Beban Gempa Dinamis ..	71
4.3.11	Kontrol Simpangan Antar Lantai	73
4.3.12	Kontrol Base Isolator	77
4.3.13	Kontrol Hinge Status Elemen.....	78
4.3.14	Respon Struktur Terhadap Gempa	82
4.3.15	Kontrol Ketidakberaturan Torsi	85
4.3.16	Perbandingan Fix Based dan Base Isolated....	87
4.4	Perencanaan Struktur Primer.....	93
4.4.1	Perencanaan Balok Induk.....	93
4.4.2	Perencanaan Kolom.....	104
4.5	Perencanaan Bangunan Bawah	110
4.5.1	Perhitungan kuat tiang pancang tunggal	111
4.5.2	Kontrol Tiang Pancang Beregu	114
4.5.3	Kontrol Kuat Geser Pilecap.....	118
4.5.4	Penulangan Pilecap	121
4.5.5	Perencanaan Kolom Pedestal	124
BAB V PENUTUP.....		128
5.1	Kesimpulan	129
5.2	Saran.....	129
DAFTAR PUSTAKA		131

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2 1 Perbandingan Perilaku Gedung Menggunakan Base Isolator Dan Fixed Base.	6
Gambar 2 2 Perbandingan Percepatan Tanah Dengan Dan Tanpa Base Isolator.....	7
Gambar 2 3 Jenis Kegagalan Akibat Beban Gempa.	8
Gambar 2 4 Nilai batasan rotasi pada FEMA 237.....	9
Gambar 2 5 Accelerogram gempa Manjil, Iran terjadi pada tahun 1990.....	10
Gambar 2 6 Kurva regangan-tegangan beton.....	11
Gambar 2 7 Kurva tegangan-regangan baja.....	12
Gambar 2 8 P-Delta effect.....	13
Gambar 3 1 Denah Pembalokan Lantai 7 - 8	16
Gambar 3 2 Accelerogram gempa Tabas, Iran 1978.....	18
Gambar 3 3 Accelerogram gempa Manjil, Iran 1990.....	19
Gambar 3 4 Accelerogram gempa Imperial Valley, California 1940.....	19
Gambar 3 5 SS , Gempa Maksimum yang Dipertimbangkan risiko-tertarget(MCER).....	20
Gambar 3 6 S_1 , Gempa Maksimum yang Dipertimbangkan risiko-tertarget(MCE_R).....	20
Gambar 3 7 PGA, Gempa Maksimum yang dipertimbangkan rata – rata geometrik (MCE_G)	21
Gambar 3 8 C_{RS} , Koefisien Risiko Terpetakan,Perioda Respons Spektral 0.2 s.....	21
Gambar 3 9 CR1, Koefisien Risiko Terpetakan, Perioda Respons Spektral 0.1 s	22
Gambar 4. 1 Dimensi Balok T Interior	29
Gambar 4. 2 Dimensi balok eksterior.....	30
Gambar 4. 3 Dimensi balok interior 1.....	31
Gambar 4. 4 Dimensi balok interior 2.....	32
Gambar 4. 5 Potongan melintang tangga	36
Gambar 4. 6 Pembebanan balok anak	38
Gambar 4. 7 Diagram momen tangga	47
Gambar 4. 8 Permodelan gedung pada program ETABS	50

Gambar 4. 9 Nilai S_s Indonesia	54
Gambar 4. 10 Nilai S_1 Indonesia	54
Gambar 4. 11 Grafik respon spektrum jakarta	58
Gambar 4. 12 Perbandingan antara HDRB dan LRB.....	60
Gambar 4. 13 Input backbone curve kolom pada program ETABS	65
Gambar 4. 14 Diagram histerisis Takeda	65
Gambar 4. 15 Grafik spektrum respon gempa manjil sebelum (biru) dan sesudah (coklat) diskalakan	66
Gambar 4. 16 Accelerogram gempa Tabas arah X yang sudah dan belum diskalakan	67
Gambar 4. 17 Accelerogram gempa Tabas arah Y yang sudah dan belum diskalakan	67
Gambar 4. 18 Accelerogram gempa Imperial Valley arah X yang sudah dan belum diskalakan	68
Gambar 4. 19 Accelerogram gempa Imperial Valley arah Y yang sudah dan belum diskalakan	69
Gambar 4. 20 Accelerogram gempa Manjil arah X yang sudah dan belum diskalakan	69
Gambar 4. 21 Accelerogram gempa Manjil arah Y yang sudah dan belum diskalakan	70
Gambar 4. 22 tingkat kerusakan pada lantai dasar	79
Gambar 4. 23 Tingkat kerusakan gedung pada potongan 2 ...	80
Gambar 4. 24 Respon salah satu sendi di balok saat terkena gempa Tabas.....	81
Gambar 4. 25 Respon struktur arah X terhadap gempa Tabas	82
Gambar 4. 26 Respon struktur arah Y terhadap gempa Tabas	82
Gambar 4. 27 Respon struktur arah X terhadap gempa Manjil	83
Gambar 4. 28 Respon struktur arah Y terhadap gempa Manjil	83
Gambar 4. 29 Respon struktur arah X terhadap gempa Imperial Valley	84
Gambar 4. 30 Respon struktur arah Y terhadap gempa Imperial Valley	84

Gambar 4. 31 Defleksi akibat gempa arah Y	86
Gambar 4. 32 Potongan melintang balok	104
Gambar 4. 33 Potongan memanjang balok	104
Gambar 4. 34 Perencanaan dimensi dan tulangan kolom	106
Gambar 4. 35 Diagram interaksi arah X dan Y	106
Gambar 4. 36 Potongan melintang kolom.....	109
Gambar 4. 37 Potongan memanjang kolom.....	110
Gambar 4. 38 Perencanaan Tiang Pancang dengan empat Tiang	114
Gambar 4. 39 Spesifikasi tiang pancang WKA beton	117
Gambar 4. 40 Defleksi tiang pancang	117
Gambar 4. 41 Lokasi punch shear kolom.....	119
Gambar 4. 42 keliling geser tiang pancang	120
Gambar 4. 43 Lokasi kritis momen arah X	121
Gambar 4. 44 Lokasi kritis momen arah Y	123
Gambar 4. 45 Potongan melintang pondasi	125

DAFTAR TABEL

Tabel 2 1 Faktor R untuk sistem penahan gaya gempa	8
Tabel 4. 1 Dimensi Kolom	35
Tabel 4. 2 Dimensi Balok.....	35
Tabel 4. 3 Tabel beban hidup per lantai	51
Tabel 4. 4 Tabel berat mati tambahan per lantai	52
Tabel 4. 5 Perbandingan hasil perhitungan manual dan ETABS	52
Tabel 4. 6 Hasil uji SPT	53
Tabel 4. 7 Nilai Sa terhadap T.....	57
Tabel 4. 8 Spesifikasi HDRB HL060X6R	60
Tabel 4. 9 Spesifikasi HDRB HT090X6R	61
Tabel 4. 10 Spesifikasi LRB LT090G4K.....	61
Tabel 4. 11 Spesifikasi LRB LL090G4K.....	62
Tabel 4. 12 Massa per lantai.....	63
Tabel 4. 13 Nilai performance level dan backbone curve	64
Tabel 4. 14 Partisipasi massa	71
Tabel 4. 15 Gaya geser dan rasio gaya gempa Tabas terhadap gaya gempa statis	72
Tabel 4. 16 Gaya geser dan rasio gaya gempa Manjil terhadap gaya gempa statis	72
Tabel 4. 17 Gaya geser dan rasio gaya gempa Manjil terhadap gaya gempa statis	73
Tabel 4. 18 Simpangan maksimum gempa tabas	74
Tabel 4. 19 Simpangan maksimum gempa Imperial Valley ..	75
Tabel 4. 20 Simpangan maksimum gempa Manjil.....	76
Tabel 4. 21 Perbandingan Base Shear	87
Tabel 4. 22 Perbandingan interstory drift gempa Tabas	91
Tabel 4. 23 Perbandingan interstory drift gempa Imperial Valley	92
Tabel 4. 24 Perbandingan interstory drift pada gempa Manjil	93
Tabel 4. 25 Kombinasi pembebanan	110
Tabel 4. 26 Hasil perhitungan kuat individu tiang pancang.	113
Tabel 4. 27 Kontrol tiang pancang	117

Tabel 4. 28 Kombinasi pembebanan pedestal	125
Tabel 4. 29 Diagram interaksi kolom pedestal	126

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pulau Jawa merupakan negara yang berada di pinggir lempengan tektonik Eurasia. Pulau Jawa juga memiliki posisi dekat dengan lempengan Indo-Australia. Hal ini menyebabkan banyaknya kejadian gempa yang terjadi di Pulau Jawa. Patahan Sumatra dan Patahan Jawa inilah yang menjadi pemicu gempa di Jakarta. Kerugian yang diakibatkan apabila infrastruktur rusak akibat gempa di Jakarta sangatlah besar. Dari segi ekonomi yang dapat menghentikan perekonomian di seluruh Indonesia hingga korban jiwa yang sangat banyak. Jakarta tercatat memiliki 10 juta penduduk pada tahun 2014 dengan rata-rata pertumbuhan 1% per-tahun (BAPPEDA Provinsi DKI Jakarta). Dengan data tersebut, diperkirakan jumlah penduduk Jakarta sebanyak 10,2 juta penduduk pada tahun 2016. Dengan luas daerah sebesar 661,2 km² maka kepadatan penduduk di Jakarta sebesar 15.500 jiwa/km². Untuk menghindari kelumpuhan ekonomi dan korban jiwa akibat gempa di Jakarta, maka dibutuhkan infrastruktur yang tahan terhadap gempa yang terjadi.

Sebagai objek studi, maka dipilih gedung apartemen Grand Dhika City Jatiwarna Tower Emerald yang berlokasi di Jatiwarna, Bekasi. Gedung ini terdiri dari 23 lantai dan juga dua lantai basement. Agar bangunan ini kuat menahan beban gempa yang besar, dapat dilakukan dengan memperkuat struktur gedung. Namun, seiring bertambahnya kekakuan gedung, maka periode getar alami gedung semakin kecil. Periode getar alami gedung yang kecil perlu dicegah karena akan berdampak pada semakin besarnya beban gempa yang akan diterima oleh gedung. Dengan memperkuat struktur belum tentu membuat interstory drift menjadi lebih kecil karena beban gempa yang diterima menjadi lebih besar. Untuk membuat gedung menerima beban gempa yang lebih kecil dan memperkecil

interstory drift lebih baik menggunakan metode peredaman energi gempa sampai tingkat yang memadai.

Seiring berkembangnya teknologi, banyak metode yang dapat digunakan untuk meredam beban gempa. Salah satu yang cocok digunakan di Indonesia adalah metode *base isolator*. Konsep *base isolator* adalah dengan memperkecil kekakuan gedung tanpa melemahkan elemen dari gedung. Kekakuan yang lebih kecil membuat periode getar alami gedung membesar, sehingga beban gempa yang diterima menjadi lebih kecil. Meskipun *building drift* yang dialami oleh gedung yang menggunakan *base isolator* menjadi lebih besar, tetapi *interstory drift* akan menjadi lebih kecil, yang berarti gaya dalam yang diterima oleh setiap elemen struktur menjadi lebih kecil. *Base isolator* dapat memperkecil kekakuan gedung karena material yang digunakan adalah material yang fleksibel. Hal itu dikarenakan kombinasi antara material karet dan pelat baja yang tersusun. Dengan sifat fleksibel tersebut, saat gaya gempa menggeser pondasi, base isolator melakukan simpangan horisontal bolak-balik dari tanah sehingga gaya tersebut hanya sebagian kecil yang diterima ke struktur bangunan (Qoernia, 2010). Ada dua jenis *base isolator*, yaitu: (1) *elastomeric bearing*, yang terdiri dari *laminated rubber bearing*, *lead rubber bearing* dan *spherical rubber bearing*. (2) *Friction pendulum bearing* (*The Canterbury Earthquakes Royal Commission*).

Saat ini, analisa yang biasa digunakan adalah analisa yang bersifat *linear*. Namun pada saat terjadi gempa besar, perilaku gedung tidak lagi bersifat *linear* apabila salah satu elemen dari strukturnya telah leleh. Oleh karena itu, penggunaan analisa yang bersifat *linear* tidak lagi akurat. Maka, diperlukan analisa *nonlinear* untuk merencanakan struktur yang menerima beban gempa yang besar.

Oleh karena itu pada Tugas Akhir ini dilakukan modifikasi perencanaan gedung Apartemen Grand Dhika City

Jatiwarna Tower Emerald menggunakan *base isolator* dengan analisa *nonlinear time history analysis*.

1.2 Rumusan Masalah

Masalah utama dari penulisan Tugas Akhir ini adalah merencanakan gedung menggunakan *Base Isolator* dengan analisa *nonlinear time history*. Adapun perincian masalahnya sebagai berikut:

1. Bagaimana merencanakan struktur sekunder yang meliputi plat balok anak, dan tangga?
2. Bagaimana merencanakan struktur beton bertulang pada struktur utama gedung dengan peraturan yang masih berlaku?
3. Bagaimana menghitung beban gempa dengan metode *time history*?
4. Bagaimana spesifikasi *base isolator* yang tepat untuk struktur gedung?
5. Bagaimana merencanakan pondasi dengan sesuai dengan beban yang dipikul?
6. Bagaimana menjelaskan perencanaan modifikasi dengan *base isolator* dalam bentuk gambar teknik?

1.3 Tujuan

Tujuan utama dari Tugas Akhir ini adalah merencanakan gedung dengan menggunakan *base isolator*. Adapun perinciannya sebagai berikut:

1. Dapat merencanakan struktur sekunder yang meliputi plat, balok anak, dan tangga.
2. Dapat merencakana struktur primer beton bertulang dengan peraturan yang masih berlaku.
3. Dapat merencanakan *base isolator* yang tepat.
4. Menganalisa beban gempa dengan metode *time history*.

5. Dapat merencanakan pondasi yang dapat memikul beban yang diterima.
6. Dapat menjelaskan struktur yang sudah dimodifikasi dengan gambar teknik.

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam Tuags Akhir ini adalah:

1. Analisa struktur menggunakan program ETABS 2016.
2. Tidak membuat metode pelaksanaan dilapangan
3. Tidak membuat perencanaan arsitektural, *mechanical and electrical*, sanitasi, manajemen konstruksi dan analisa biaya.

1.5 Manfaat

Adapun manfaat dari Tugas Akhir ini adalah:

1. Menjadi salah satu pertimbangan oleh para perencana untuk mendesain struktur tahan gempa dengan menggunakan *base isolator*.
2. Sebagai tambahan ilmu kepada penulis dan pembaca Tugas Akhir mengenai perencanaan struktur dengan menggunakan *base isolator*.
3. Memperkenalkan *time history analysis* untuk menghitung beban gempa bagi pembaca.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Daktilitas Struktur Bangunan

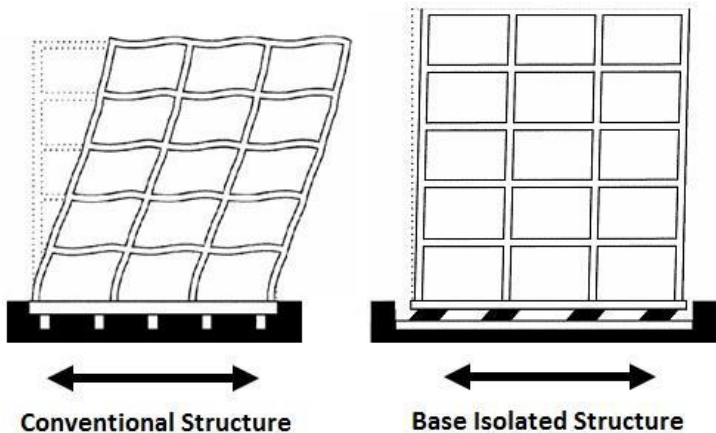
Daktilitas adalah kemampuan struktur gedung untuk mengalami simpangan pasca-elastik yang besar secara berulang kali dan bolak-balik akibat beban gempa di atas beban gempa yang menyebabkan terjadinya pelelehan pertama, sambil mempertahankan kekuatan dan kekakuan yang cukup, sehingga struktur gedung tersebut tetap berdiri, walaupun sudah berada dalam kondisi diambang keruntuhan.

2.2 Base Isolator Elastomeric Rubber Bearing

Base isolator elastomeric rubber bearing adalah lembaran baja yang dibungkung menggunakan karet berkualitas tinggi. *Base isolator elastomeric bearing* menggunakan lapisan baja di dalamnya untuk mengurangi defleksi karet ke arah lateral akibat beban aksial. Nilai defleksi lateral yang terlalu besar dapat membuat karet tidak dapat bekerja selayaknya. *Base isolator elastomeric rubber bearing* juga dilapisi plat baja dengan ukuran yang tebal pada bagian atas dan bawahnya yang berfungsi untuk menyambung antara kolom dengan *pilecap*.

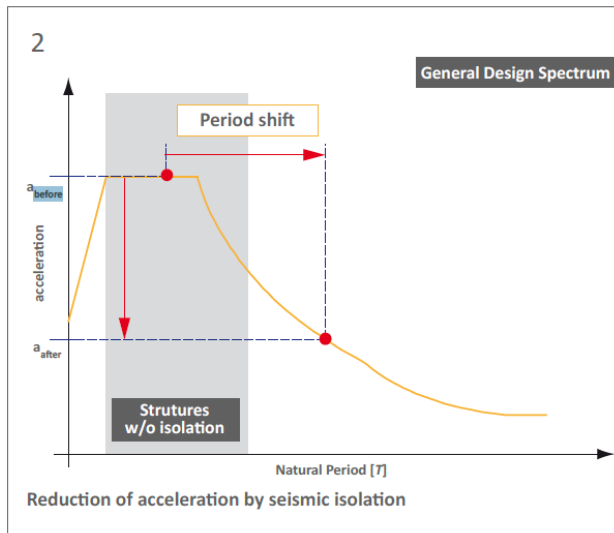
Base isolator diletakkan antara pondasi dan struktur atas gedung. Hal ini dilakukan dengan tujuan mengisolasi beban gempa yang terjadi di tanah dari struktur atas gedung. Pada gedung yang tidak menggunakan *base isolator*, perletakkan gedung dengan struktur atas bangunan menyatu. Sehingga ketika tanah bergerak akibat gempa, struktur atas gedung menerima beban gempa dengan kekuatan yang besar. Pada bangunan yang menggunakan *base isolator*, getaran yang terjadi pada pondasi akan melewati bantalan karet terlebih dahulu sebelum memasuki sistem struktur. Karena karet bersifat elastis maka arah getaran yang terjadi hanya akan

mempengaruhi base isolator, sedangkan struktur yang di atasnya hanya menerima beban gempa yang lebih kecil jika dibandingkan dengan struktur tanpa *base isolator*. Ilustrasi antara gedung yang menggunakan *base isolator* dan tidak, dapat dilihat pada **Gambar 2.1**.



Gambar 2 1 Perbandingan Perilaku Gedung Menggunakan Base Isolator Dan Fixed Base.

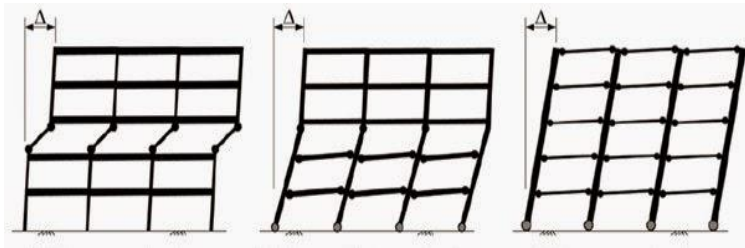
Prinsip utama dari *Base isolator elastomeric rubber bearing* adalah mengurangi periode getar alami gedung hingga 2 – 3 kali lebih lama dan memiliki *damping ratio* antara 15 – 30 %. Periode getar alami yang lebih besar membuat bangunan menerima beban gempa yang lebih kecil ditunjukkan pada **Gambar 2.2**.



Gambar 2.2 Perbandingan Percepatan Tanah Dengan Dan Tanpa Base Isolator.

2.3 Sendi Plastis

Pada saat mendapat gaya gempa, kerusakan yang terjadi pada gedung sangat bergantung kepada *lateral story drift* (simpangan antar lantai). Jika ada satu kolom yang terlalu lemah, maka *lateral drift* cenderung dihasilkan oleh satu lantai saja. Sebaliknya, jika kolom lebih kuat dari balok (*strong column weak beam*) maka *lateral drift* akan terdistribusi merata pada setiap lantai. Kolom yang lebih kuat juga mampu mencegah keruntuhan gedung yang diakibatkan oleh kegagalan pada kolom ditunjukkan pada **Gambar 2.3**.



Gambar 2 3 Jenis Kegagalan Akibat Beban Gempa.

Daktalitas adalah faktor yang sangat menentukan terhadap seberapa beban gempa yang bekerja pada struktur gedung. Hal ini ditandai dengan faktor reduksi gempa (R) yang lebih besar pada struktur yang memiliki kecapaian daktalitas lebih tinggi dibandingkan dengan yang elastis ditunjukkan pada SNI 1726-2012 tabel 9.

Tabel 2 1 Faktor R untuk sistem penahan gaya gempa

No	Sistem Penahan Gaya Seismik	R , Koefisien reduksi respon
1	Rangka beton bertulang pemikul momen khusus	8
2	Rangka beton pemikul momen menengah	5
3	Rangka beton pemikul momen biasa	3

Rotasi pada balok memiliki batasan agar bangunan tetap berdiri meskipun menerima beban gempa yang besar yang diatur pada FEMA 237 tabel 6-6. Pengelompokkan rotasi balok ini dibagi menjadi 3 jenis, *immediate occupancy*, *life safety*, dan *collapse prevention*. Pada fase *immediate occupancy* seluruh bagian bangunan masih tetap elastis setelah gempa. Sedangkan pada fase *life safety* beberapa elemen dari balok sudah mengalami kelelahan pada tulangan dan betonnya. Dan pada

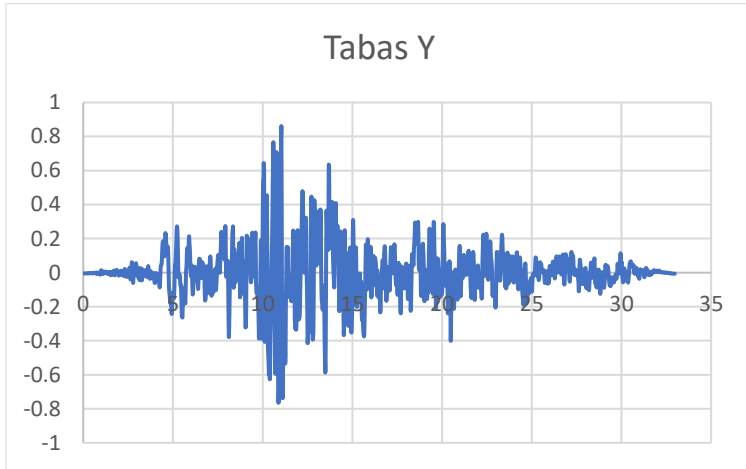
fase *collapse prevention* balok sudah mengalami retak, namun bangunan belum runtuh.

Conditions	Modeling Parameters ³				Acceptance Criteria ³					
	Plastic Rotation Angle, radians	Residual Strength Ratio	c	Plastic Rotation Angle, radians						
				Component Type						
				Primary		Secondary				
				Performance Level						
a	b	c	IO	LS	CP	LS	CP			
i. Beams controlled by flexure ¹										
$\frac{\rho - \rho'}{\rho_{bal}}$	Trans. Reinf. ²	$\frac{I'}{b_w d \sqrt{f'_c}}$								
≤ 0.0	C	≤ 3	0.025	0.05	0.2	0.005	0.02	0.025	0.02	0.05
≤ 0.0	C	≥ 6	0.02	0.04	0.2	0.005	0.01	0.02	0.02	0.04
≥ 0.5	C	≤ 3	0.02	0.03	0.2	0.005	0.01	0.02	0.02	0.03
≥ 0.5	C	≥ 6	0.015	0.02	0.2	0.005	0.005	0.015	0.015	0.02
≤ 0.0	NC	≤ 3	0.02	0.03	0.2	0.005	0.01	0.02	0.02	0.03
≤ 0.0	NC	≥ 6	0.01	0.015	0.2	0.0	0.005	0.01	0.01	0.015
≥ 0.5	NC	≤ 3	0.01	0.015	0.2	0.005	0.01	0.01	0.01	0.015
≥ 0.5	NC	≥ 6	0.005	0.01	0.2	0.0	0.005	0.005	0.005	0.01
ii. Beams controlled by shear ¹										
Stirrup spacing ≤ d/2	0.0	0.02	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.01	0.02	
Stirrup spacing > d/2	0.0	0.01	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.005	0.01	
iii. Beams controlled by inadequate development or splicing along the span ¹										
Stirrup spacing ≤ d/2	0.0	0.02	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.01	0.02	
Stirrup spacing > d/2	0.0	0.01	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.005	0.01	
iv. Beams controlled by inadequate embedment into beam-column joint ¹										
	0.015	0.03	0.2	0.01	0.01	0.015	0.02		0.03	

Gambar 2 4 Nilai batasan rotasi pada FEMA 237.

2.4 Time History

Untuk memperhitungkan perilaku pasca-elastik gedung, maka dibutuhkan perhitungan dengan menggunakan *nonlinear time history analysis* (NLTHA). Dimana respon spectrum dari gempa acuan harus diskalakan pada respon spectrum lokasi bangunan berada. Pada Tugas Akhir ini, digunakan gempa Manjil, Iran sebagai acuan untuk menghitung beban gempa. *Accelerogram* dari gempa Manjil ditunjukkan pada **Gambar 2.4**.



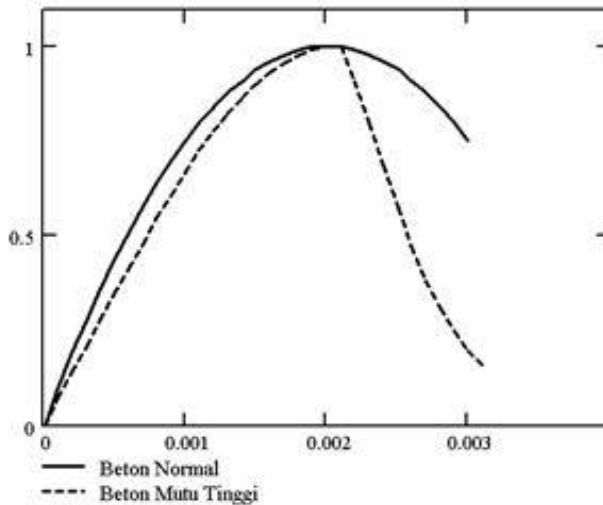
Gambar 2 5 *Accelerogram* gempa Manjil, Iran terjadi pada tahun 1990.

2.5 Kurva Tegangan-Regangan Material

Untuk menguji kekuatan dan kekakuan suatu material pengujian menggunakan korelasi antara tegangan dan regangan adalah hal yang sering dijumpai. Namun dalam material yang biasa digunakan dalam bidang keteknik-sipil, banyak material yang tidak tetap elastis setelah mengalami regangan yang besar. Bahan yang telah menjadi plastis tidak akan menjadi bentuk seperti semula apabila bebannya sudah dilepas.

2.5.1. Kurva Tegangan-Regangan Beton

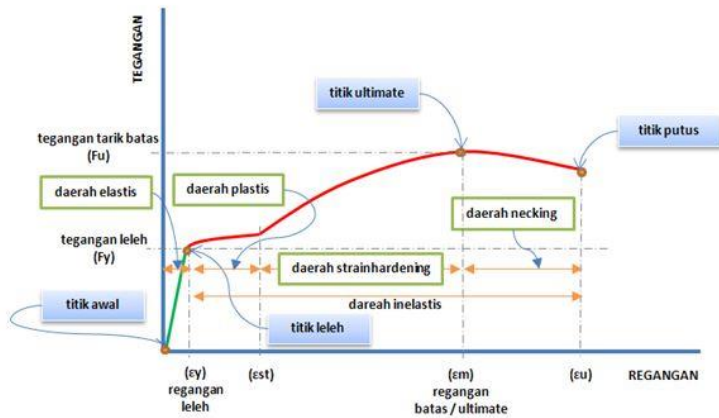
Beton memiliki dua jenis, beton mutu biasa dan beton mutu tinggi. Beton mutu tinggi memiliki kuat tekan yang lebih tinggi dari beton mutu biasa. Sedangkan beton mutu biasa memiliki daktilitas yang lebih baik seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 2.5**.



Gambar 2.6 Kurva regangan-tegangan beton

2.5.2. Kurva regangan-tegangan tulangan baja

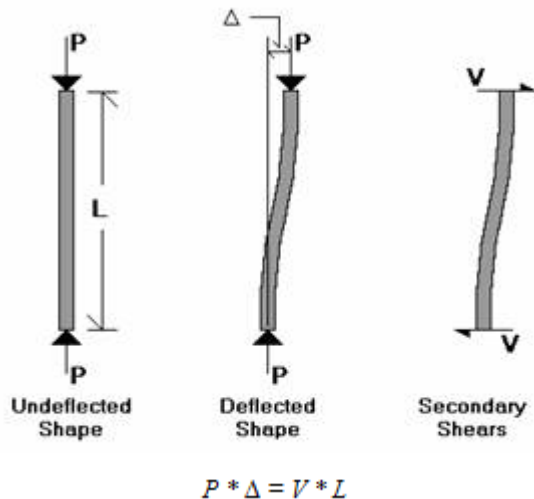
Baja memiliki tingkat kandungan karbon (C) yang beragam. Kandungan karbon yang tinggi dapat membuat baja lebih daktail. Sedangkan baja dengan kandungan karbon yang lebih sedikit memiliki daktilitas yang kurang bagus tetapi memiliki kekuatan yang lebih tinggi. Sama halnya seperti beton, baja juga memiliki fase ketika regangannya melebihi batas elastis, maka akan menjadi plastis seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 2.6**.



Gambar 2 7 Kurva tegangan-regangan baja.

2.6 P-Delta Analysis

Ketika suatu elemen dibebani dengan beban aksial maka elemen tersebut akan defleksi ke arah sumbu 1. Apabila beban terus ditambah, maka elemen akan defleksi ke arah lateral dan tidak lagi lurus seperti awal. Akibat elemen defleksi ke arah lateral, maka akan mengakibatkan momen sebesar $P \times \Delta$ dan gaya geser seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 2.7**. Akibat momen yang muncul dari efek P-Delta, maka ada defleksi ke arah lateral tambahan, sehingga nilai Δ menjadi lebih besar yang mengakibatkan momen menjadi lebih besar. Analisa ini menggunakan penyelesaian iterasi hingga tercapainya kesetimbangan gaya.



Gambar 2 8 P-Delta effect

Selain diakibatkan oleh *lateral buckling* akibat beban aksial, *P-Delta effect* juga dapat diakibatkan oleh beban lateral yang menghasilkan simpangan lateral. Hal inilah yang harus diperhatikan dalam memperhitungkan defleksi pada gedung akibat beban gempa. Karena *P-Delta effect* dapat membuat gedung berdeformasi jauh lebih besar.

1.7 Faktor Reduksi Struktur dengan *Base Isolator*

Menurut SNI 1726:2012 pasal 12 menyatakan bahwa nilai faktor reduksi gempa (R) untuk struktur gedung yang menggunakan *base isolator* adalah 2. Karena besarnya beban gempa yang akan diterima oleh struktur karena nilai R yang kecil, maka struktur diperbolehkan menggunakan struktur pemikul momen biasa (SPRMB) karena struktur diperkirakan akan sangat kecil kemungkinannya mengalami plastifikasi.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB III METODOLOGI

3.1 Prosedur Pengerjaan Tugas Akhir

3.1.1 Studi Literatur

Studi literature adalah dasaran teori yang dijadikan referensi untuk menyelesaikan tugas akhir ini. Referensi ini terdiri dari:

- Perencanaan bangunan gedung bertingkat
- Analisa gempa menggunakan metode NLTHA
- Peraturan tentang struktur yang masih berlaku

Referensi dapat berupa buku, jurnal, dan artikel laporan penelitian. Tujuannya adalah untuk memperkuat dasaran teori dalam menyelesaikan permasalahan.

3.1.2 Pengumpulan Data

Dalam pengerjaan tugas akhir ini, digunakan dua jenis data yang dapat digunakan, yaitu:

- Data primer
- Data sekunder

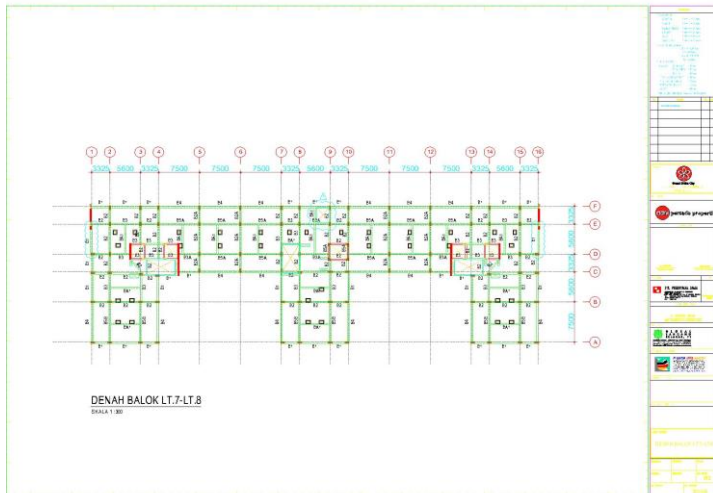
Namun dalam pengerjaan tugas akhir ini hanya digunakan data sekunder. Data sekunder adalah data pendungkun untuk merencanakan struktur bangunan. Data sekunder tidak didapat dari pengamatan langsung di lapangan. Yang dimaksud dengan data sekunder adalah data data pendungkung berupa gambar, tabel, dll. yang erat kaitannya dengan proyek Grand Dhika City.

- Mutu Material

Kolom	: $f'c = 30 \text{ MPa}$
Balok	: $f'c = 30 \text{ MPa}$
Pelat	: $f'c = 30 \text{ MPa}$
Tulangan	: $f_y = 250 \text{ MPa}$

- Gambar

Gambar merupakan data yang dibutuhkan untuk menunjang perencanaan gedung. Seperti kondisi dan letak lokasi proyek serta gambar denah seperti **Gambar 3.1**.



Gambar 3 1 Denah Pembalokan Lantai 7 - 8

- Data Proyek

Nama Proyek : Gedung Grand Dhika City
Tower Emerald
Fungsi Bangunan : Hunian dan Tempat tinggal.
Jumlah Lantai : 23 Lantai.
Lokasi : Jalan Raya Hankam, Bekasi.
Struktur Bangunan : Konstruksi Rangka Beton Bertulang.
Struktur Atap : Konstruksi Pelat Beton Bertulang.
Bahan Bangunan : Struktur Beton.

3.1.3 Preliminary Design

Menurut SNI 2847-2013 bahwa asumsi awal dari perencanaan plat untuk tempat tinggal adalah sebesar $h_{\min} = 12$ cm. Sedangkan untuk atap gedung dengan $h_{\min} = 10$ cm.

Untuk dimensi balok yang efisien, maka preliminary design balok dapat menggunakan rumus:

$$h = \frac{1}{12} l, \text{ dan } b = \frac{2}{3} h$$

Untuk preliminary kolom beton, dianggap beban yang bekerja hanyalah beban aksial, maka digunakan rumus:

$$A_g = \frac{P_u}{0.3 \times f'_c}$$

Dengan rasio tulangan (ρ) sebesar 0,01 – 0,06. Dengan memperkirakan rasio tulangan 0.01 adalah rasio yang paling ekonomis karena menggunakan tulangan baja yang lebih sedikit.

Sedangkan pada perencanaan dinding geser, ditetapkan setebal 250 mm. Sedangkan penggunaan struktur batas akan akan ditinjau dari hasil perhitungan ETABS dan pedoman SNI 2847.

3.1.4 Pembebanan

Pembebanan pada struktur pada tugas akhir ini mengacu pada SNI 1727-2013. Bangunan memikul beberapa macam beban sebagai berikut:

- **Beban mati**
Beban mati adalah berat seluruh bahan konstruksi bangunan gedung yang terpasang, termasuk dinding, lantai, atap, plafon, tangga, dinding partisi tetap, *finishing*, klading

gedung dan komponen arsitektural dan struktural lainnya serta peralatan layan terpasang lain termasuk berat keran (SNI 1727-2013 Ps 3.1). Sebagai contohnya, antara lain.

Beton Bertulang	: 2400 kg/m ³
Finishing lantai	: 21 kg/m ²
Penutup lantai (ubin)	: 24 kg/m ²
Pasangan dinding ½ bata	: 250 kg/m ²

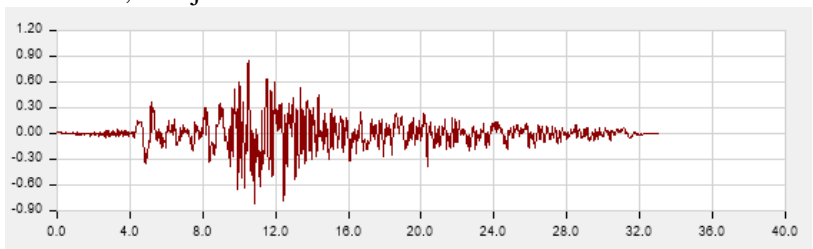
- **Beban hidup**

Beban hidup adalah beban maksimum yang akan dialami oleh suatu jenis ruangan. Pada tugas akhir ini mengacu pada SNI 1727-2013 tabel 4-1. Sebagai contohnya antara lain:

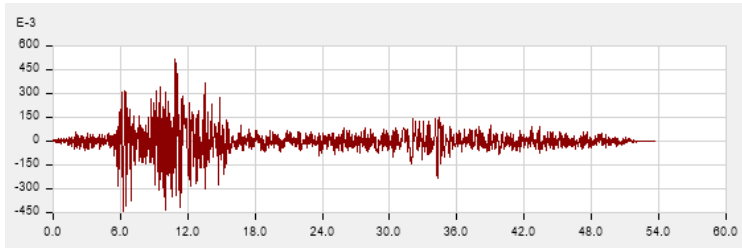
Ruang makan	: 4,79 KN/m ²
Ruang kantor	: 2,4 KN/m ²
Ruang pribadi hunian	: 1,92 KN/m ²
Ruang publik hunian	: 4,79 KN/m ²

- **Beban gempa**

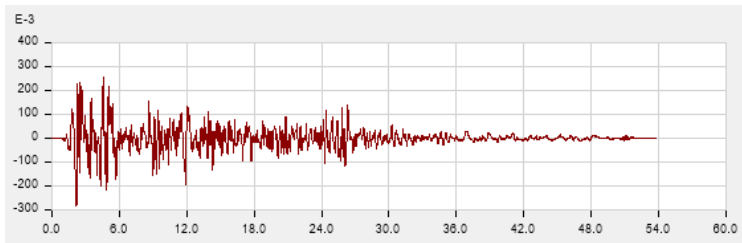
Beban gempa yang digunakan untuk menghitung tulangan balok, kolom dan shearwall menggunakan dinamik respons spectrum dan ketika dianalisa dengan menggunakan metode NLTHA, menggunakan gempa *time history* Duzce, Tabas, Manjil dan Landers.



Gambar 3 2 Accelerogram gempa Tabas, Iran 1978



Gambar 3 3 Accelerogram gempa Manjil, Iran 1990.

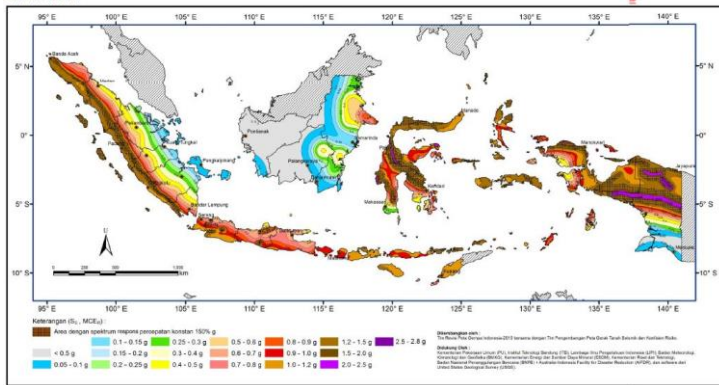


Gambar 3 4 Accelerogram gempa Imperial Valley, California 1940.

3.1.5 Analisa Respon Spektrum

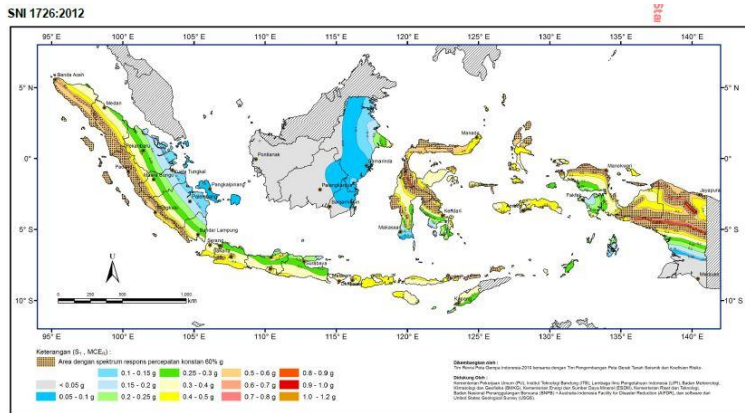
Dari peta – peta gerak tanah seismik dan koefisien risiko telah didapatkan parameter – parameter gerak tanah S_s dan S_1 , kelas situs SE serta koefisien risiko C_{RS} dan C_{R1} dari lokasi yang ditinjau yaitu Surabaya, yang ditunjukkan pada **Gambar 3.3** sampai dengan **Gambar 3.7** berikut :

SNI 1726:2012



Gambar 3 5 SS , Gempa Maksimum yang Dipertimbangkan risiko-tertarget(MCER)

Didapat S_s dari lokasi Jakarta yaitu sebesar : $0.7 - 0.8g$



Gambar 3 6 S₁, Gempa Maksimum yang Dipertimbangkan risiko-tertarget(MCE_R)

Didapat S₁ dari lokasi jakarta yaitu sebesar : 0.25 – 0.3g



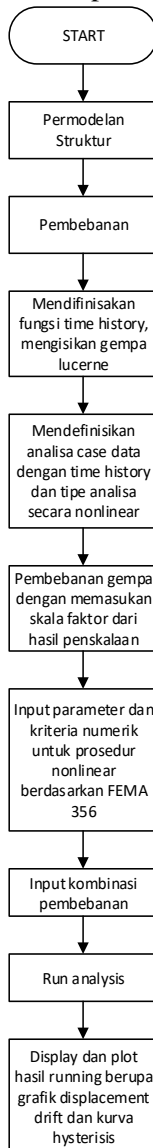


Jadi dapat disimpulkan bahwa untuk analisa respons spectral data – data yang digunakan adalah :

$$C_{R1} = 0.95 - 1$$

3.1.6 Analisa struktur menggunakan NLTHA

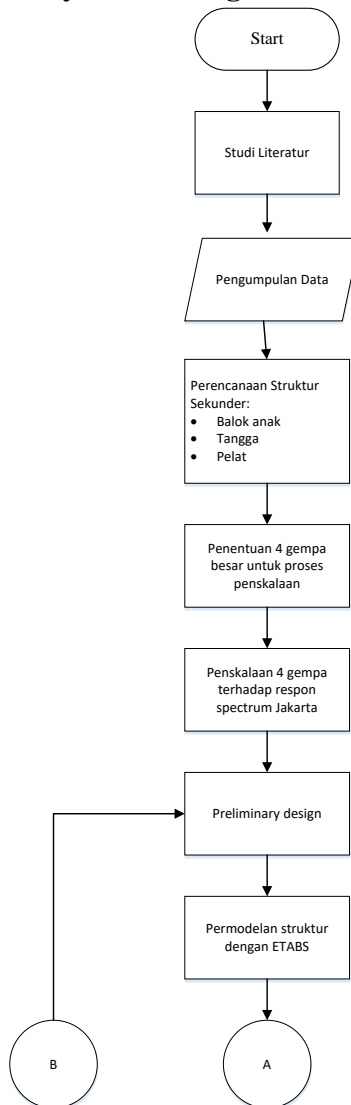
Berikut akan dilampirkan tahapan analisa dengan ETABS :



3.2 Penyajian Laporan dan Format Penggambaran

Penyajian Laporan Tugas Akhir ini disesuaikan dengan pedoman pembuatan laporan Tugas Akhir yang diterbitkan oleh Jurusan Teknik Sipil Institut Teknologi Sepuluh Nopember yang terdiri dari sistematika penulisan, penggunaan bahasa dan bentuk laporan. Sedangkan format penggambaran disesuaikan dengan peraturan dan tata cara menggambar teknik struktur bangunan dengan menggunakan program AutoCAD 2015.

3.3 Flowchart Penyusunan Tugas Akhir





BAB IV

ANALISA DAN PERENCANAAN STRUKTUR

ATAS

4.1 Preliminary Deign

4.1.1 Balok Anak

Perencanaan preliminary balok anak menggunakan persamaan

$$h = \frac{l}{16}$$

$$b = \frac{2}{3}h$$

Dimana:

b = Lebar Balok

h = Tinggi balok

Tabel 4. 1 Dimensi Balok Anak

Kode Balok Anak	Bentang Balok (mm)	h (mm)	b (mm)	h pakai (mm)	b pakai (mm)	Jarak antar balok (mm)
BA1	5600	266	177	450	300	2800
BA2	7500	468	312	450	300	3750

4.1.2 Plat

Perencanaan dimensi plat dua arah menggunakan SNI 2847:2013 pasal 9.5.3.2

$$h = \frac{ln}{36} \text{ (SNI 2847:2013 pasal 9.5.3.2)}$$

Dimana:

L_n = Panjang plat ke arah memanjang.

Dengan ketentuan h sesuai dengan SNI 2847:2013 pasal 9.5.3.3, tidak boleh lebih kecil dari

- Untuk $0.2 \leq \alpha_{tm} \leq 2$

$$h = \frac{l_n \left(0.8 + \frac{f_y}{1400} \right)}{36 + 5\beta(\alpha_{tm} - 0.2)}$$

- Untuk $\alpha_{tm} > 2$

$$h = \frac{l_n \left(0.8 + \frac{f_y}{1400} \right)}{36 + 9\beta}$$

- Lebih besar dari 90 mm

Dimana:

l_n = Panjang Pelat ke arah memendek (m)

β = Rasio bentang panjang per bentang pendek

α_{tm} = nilai rata rata dari seluruh α

f_y = kuat leleh tulangan baja (MPa)

Dengan nilai α

$$\alpha = \frac{E_{Balok} \times I_{Balok}}{E_{Pelat} \times I_{Pelat}}$$

$$I_{pelat} = \frac{1}{12} \times b \times t^3$$

$$I_{balok} = \frac{1}{12} \times b \times h^3 \times k$$

$$k = \frac{1 + \left(\frac{be}{bw} - 1\right) \times \frac{hf}{hw} \times \left[4 - 6 \frac{hf}{hw}\right] + 4 \left(\frac{hf}{hw}\right)^2 + \left(\frac{be}{bw} - 1\right) \times \left(\frac{hf}{hw}\right)^2}{1 + \left(\frac{be}{bw} - 1\right) \times \frac{hf}{hw}}$$

Dimana:

b_e = Lebar Sayap

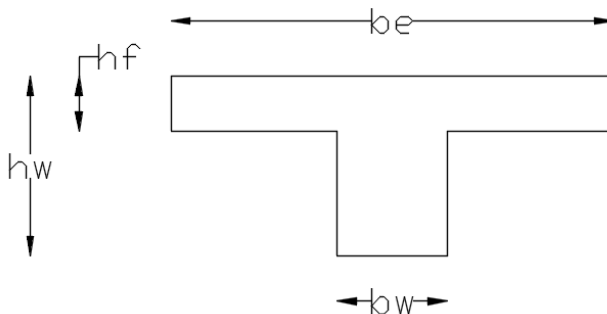
b_w = Lebar badan

h_f = Tebal sayap

h_w = Tinggi balok

ketentuan dimensi dari balok

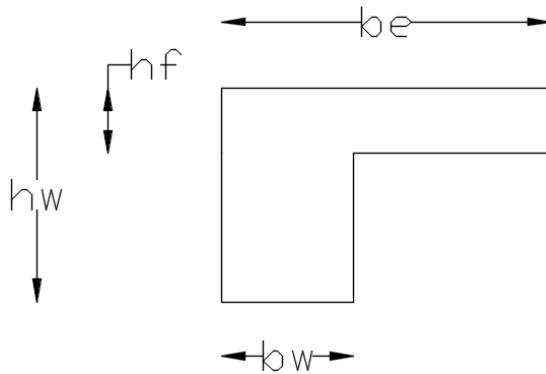
- Interior



Gambar 4. 1 Dimensi Balok T Interior

Lebar sayap dari balok disesuaikan dengan SNI 2847:2013 pasal 8.12.2 dengan ketentuan:

- Tidak melebihi delapan kali tebal plat
- Setengah jarak bersih ke badan balok sebelahnya
- Seperempat panjang balok
- Eksterior



Gambar 4. 2 Dimensi balok eksterior

Lebar sayap dari balok disesuaikan dengan SNI 2847:2013 pasal 8.12.3 dengan ketentuan:

- Seperduabelas panjang balok
- Enam kali tebal slab
- Setengah jarak bersih ke badan sebelahnya

Contoh Perhitungan plat dimensi 7500×2800 mm

Tebal plat

$$h = \frac{2800}{36} = 77.7 \text{ mm}$$

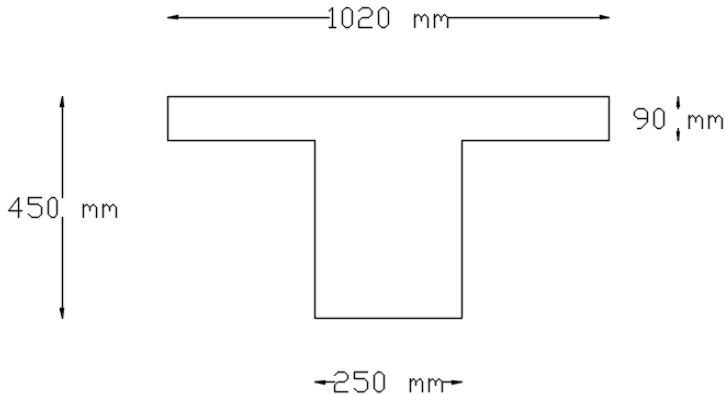
Karna nilai lebih kecil dari ketentuan, maka diambil nilai h sebesar 90 mm

$$\beta = \frac{7500}{2800} = 2.7$$

1. Balok anak interior 450×300 mm L = 7500 mm
 $be_1 \leq 2 \times 8h_f + b_w = 2 \times (8 \times 90) + 300 = 1740$ mm
 $be_2 \leq \frac{1}{2} \times S + b_w = 2 \times (\frac{1}{2} \times 2800) + 300 = 3100$ mm

$$be_3 \leq (\frac{1}{4} \times L_n) = (\frac{1}{4} \times 7500) = 1875 \text{ mm}$$

maka digunakan $be = 1740 \text{ mm}$ (terkecil)



Gambar 4. 3 Dimensi balok interior 1

$$k = \frac{1 + \left(\frac{1740}{250} - 1\right) \times \frac{90}{450} \times \left[4 - 6 \frac{90}{250}\right] + 4 \left(\frac{90}{450}\right)^2 + \left(\frac{1740}{250} - 1\right) \times \left(\frac{90}{450}\right)^2}{1 + \left(\frac{90}{250} - 1\right) \times \frac{90}{450}}$$

$$k = 2.06$$

$$I_{balok} = \frac{1}{12} \times 150 \times 300^3 \times 2.06$$

$$= 6.70 \times 10^9 \text{ mm}^4$$

$$I_{pelat} = \frac{1}{12} \times 7500 \times 90^3 = 4.56 \times 10^8 \text{ mm}^4$$

$$\alpha = \frac{6.70 \times 10^9}{4.56 \times 10^8} = 14.7$$

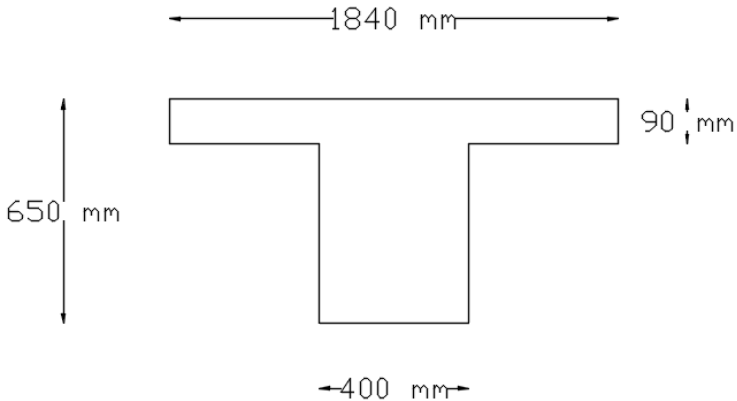
2. Balok induk interior 650 x 400 mm L = 7500 mm

$$be_1 \leq 2 \times 8h_f + b_w = 2 \times (8 \times 90) + 400 = 1840 \text{ mm}$$

$$be_2 \leq \frac{1}{2} \times S + b_w = 2 \times (\frac{1}{2} \times 2800) + 400 = 3200 \text{ mm}$$

$$be_3 \leq (\frac{1}{4} \times Ln) = (\frac{1}{4} \times 7500) = 1875 \text{ mm}$$

maka digunakan $be = 1840 \text{ mm}$ (terkecil)



Gambar 4. 4 Dimensi balon interior 2

$$k = \frac{1 + \left(\frac{1840}{400} - 1\right) \times \frac{90}{650} \times \left[4 - 6 \frac{90}{650}\right] + 4 \left(\frac{90}{650}\right)^2 + \left(\frac{1840}{400} - 1\right) \times \left(\frac{90}{450}\right)^2}{1 + \left(\frac{1840}{400} - 1\right) \times \frac{190}{650}}$$

$$k = 1.81$$

$$I_{balok} = \frac{1}{12} \times 400 \times 650^3 \times 1.81$$

$$= 1.88 \times 10^{10} \text{ mm}^4$$

$$I_{pelat} = \frac{1}{12} \times 750 \times 90^3 = 4.56 \times 10^8 \text{ mm}^4$$

$$\alpha = \frac{1.88 \times 10^{10}}{4.56 \times 10^8} = 41.27$$

3. Balok induk eksterior $500 \times 300 \text{ mm}$ $L = 2800 \text{ mm}$

$$be_1 \leq 6h_f + b_w = (6 \times 90) + 300 = 840 \text{ mm}$$

$$be_2 \leq \frac{1}{2} \times 2 \times S + b_w = (\frac{1}{2} \times 7500) + 300 = 4050 \text{ mm}$$

$$be_3 \leq (\frac{1}{4} \times Ln) = (\frac{1}{12} \times 2800) = 233 \text{ mm}$$

maka digunakan $be = 300 \text{ mm}$ (sesuai dengan lebar sayap)

$$k = \frac{1 + \left(\frac{300}{300} - 1\right) \times \frac{90}{500} \times \left[4 - 6 \frac{90}{500}\right] + 4 \left(\frac{90}{500}\right)^2 + \left(\frac{300}{300} - 1\right) \times \left(\frac{90}{450}\right)^2}{1 + \left(\frac{300}{300} - 1\right) \times \frac{90}{500}}$$

$$k = 1.12$$

$$I_{balok} = \frac{1}{12} \times 400 \times 650^3 \times 1.12$$

$$= 2.26 \times 10^9 \text{ mm}^4$$

$$I_{pelat} = \frac{1}{12} \times 2800 \times 90^3 = 1.7 \times 10^8 \text{ mm}^4$$

$$\alpha = \frac{2.26 \times 10^9}{1.7 \times 10^8} = 14.89$$

4. Balok induk interior $500 \times 300 \text{ mm}$ $L = 2800 \text{ mm}$

$$be_1 \leq 2 \times 8h_f + b_w = 2 \times (8 \times 90) + 300 = 1740 \text{ mm}$$

$$be_2 \leq \frac{1}{2} \times 2 \times S + b_w = (\frac{1}{2} \times 7500) + 300 = 7800 \text{ mm}$$

$$be_3 \leq (\frac{1}{4} \times Ln) = (\frac{1}{2} \times 2800) = 700 \text{ mm}$$

maka digunakan $be = 700 \text{ mm}$ (sesuai dengan lebar sayap)

$$k = \frac{1 + \left(\frac{700}{300} - 1\right) \times \frac{90}{500} \times \left[4 - 6 \frac{90}{500}\right] + 4 \left(\frac{90}{500}\right)^2 + \left(\frac{700}{300} - 1\right) \times \left(\frac{90}{450}\right)^2}{1 + \left(\frac{700}{300} - 1\right) \times \frac{90}{500}}$$

$$k = 1.51$$

$$I_{balok} = \frac{1}{12} \times 400 \times 650^3 \times 1.51$$

$$= 4,04 \times 10^9 \text{ mm}^4$$

$$I_{pelat} = \frac{1}{12} \times 2800 \times 90^3 = 1.7 \times 10^8 \text{ mm}^4$$

$$\alpha = \frac{2.26 \times 10^9}{1.7 \times 10^8} = 26.62$$

$$\alpha_{tm} = \frac{14,7 + 41,27 + 14,89 + 26,62}{4} = 24.37 \text{ (Jepit Penuh)}$$

Kontrol ketebalan plat

$$90 \geq \frac{7500 \times \left(0.8 + \frac{240}{1400}\right)}{36 + 5 \times 2.7(23.26 - 0,2)}$$

$$90 \geq 20,7 \text{ (OK!)}$$

4.1.3 Kolom

Preliminary dimensi kolom mengacu pada kolom di grid 5 – D dengan menggunakan persamaan sebagai berikut

$$P = A_g \times f_c \times 0,33$$

Di mana beban yang diterima kolom adalah sebesar

$$P = \left(\sum_{i=1}^{24} q_i \right) \times A_{plat}$$

Sehingga didapat nilai P sebesar **5060.475 KN**.

$$5060,475 = A_g \times 30 \times 0,33$$

$$A_g = 511159 \text{ mm}^2$$

Sehingga digunakan kolom dengan dimensi $600 \times 900 \text{ mm}$ dengan A_g sebesar 540000 mm^2 .

Sehingga didapat dimensi kolom seperti berikut

Tabel 4. 2 Dimensi Kolom

Kolom	B (mm)	H (mm)	Lantai
K1	900	600	Base – 4 th
K2	1000	600	Base – Crown
K3	400	400	Base – 3 rd
K4	800	600	5 th – 19 th
K5	1000	600	4 th – crown
K6	800	600	20 th - crown

4.1.4 Balok Induk

Preliminary balok induk menggunakan persamaan

$$h = \frac{l}{12}$$

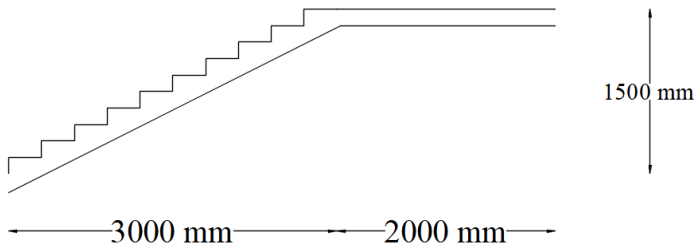
$$b = \frac{2}{3}h$$

Sehingga didapat dimensi balok seperti berikut:

Tabel 4. 3 Dimensi Balok

Balok	H (mm)	B (mm)	L (mm)	Lantai
BI1	650	400	7500	Base – 4 th
BI2	500	300	5600	
BI3	450	300	3325	
BI4	500	300	7500	Base – 3 rd
BI5	600	400	7500	5 th – 19 th
BI6	450	300	5600	
BI7	450	300	3325	
BI8	600	500	7500	20 th – crown
BI9	450	300	5600	
BI10	450	300	3325	

4.1.5 Tangga



Gambar 4. 5 Potongan melintang tangga

Tinggi tangga = 3 m

Tinggi tanjakan = 150 mm

Lebar tanjakan = 300 mm

Tebal plat tangga = 150 mm

Tebal plat bordes = 150 mm

Lebar bordes = 2 m

Lebar tangga = 1,5 m

Kontrol kemiringan tangga

$$25^{\circ} \leq \alpha \leq 40^{\circ}$$

Didapat kemiringan sebesar $\tan^{-1} \frac{150}{300} = 26,5^{\circ}$ (OK!)

4.2 Perencanaan Struktur Sekunder

4.2.1 Perencanaan Balok Anak

Balok anak adalah balok yang didesain berbentuk segi empat dengan tujuan untuk mengurangi tebal plat. Balok anak akan dicor ditempat.

4.2.1.1 Pembebanan

Contoh perhitungan BA1

Longitudinal bar = D19

Tranversal bar = D13

Konfigurasi sengkang = 2

L = 5600 mm

s = 2800 mm

h = 450 mm

b = 300 mm

d = $450 - 12.7 - 19/2 - 20 = 407$ mm

Beban yang diterima balok

Beban plat = $24 \times 0.16 \times 2.8 = 10,75$ KN/m

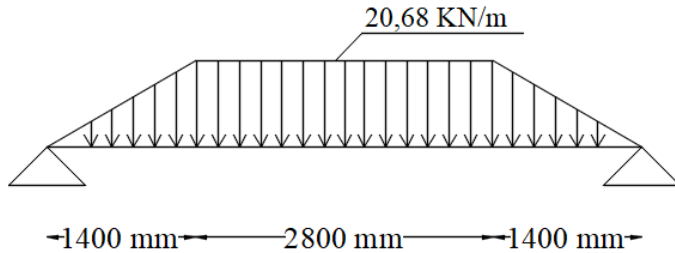
Beban mati = $0.558 \times 2.8 = 1,562$ KN/m

Beban hidup = $4.79 \times 2.8 = 13,41$ KN/m

Beban balok = $24 \times 0.3 \times 0.45 = 3,24$ KN/m

Qu = $(1.2D + 1.6L) = 20,68$ KN/m

Mengacu pada PBI 1971 pasal 13.2 nilai momen pada tumpuan dan tengah bentang balok didapat sebesar



Gambar 4. 6 Pembebanan balok anak

Dari pembebanan di atas, maka didapat nilai gaya dalam sebagai berikut:

$$M_u = 64,87 \text{ KN.m}$$

$$V_u = 131,9 \text{ KN}$$

4.2.1.2 Penulangan

$$f'_c = 30 \text{ MPa}$$

$$f_y = 250 \text{ MPa}$$

$$\beta_1 = 0.83 \text{ (SNI 2847:2013 pasal 10.2.7.3)}$$

Tulangan longitudinal

$$R_n = \frac{M_u}{\phi b d^2}$$

$$R_n = \frac{69519650}{0.9 \times 300 \times 407^2} = 1.55 \text{ MPa}$$

Rasio penulangan dihitung dengan persamaan

$$\rho = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times Rn}{0.85 \times f'c}} \right)$$

$$\rho = \frac{1}{9.8} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 1.55}{0.85 \times 30}} \right) = 0.0064$$

Dengan batasan rasio tulangan terkecil mengacu pada SNI 2847:2013 pasal 10.5.1

$$\rho_{min_1} = \frac{1.4}{f_y} \quad \text{dan} \quad \rho_{min_2} = \frac{0.25\sqrt{f_c}}{f_y}$$

$$\rho_{min_1} = \frac{1.4}{240} = 0.0056$$

$$\rho_{min_2} = \frac{0.25\sqrt{f_c}}{f_y} = 0.00548$$

$$\rho_{max} = 0.75 \times \frac{0.85 \times f'c \times \beta_1}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right)$$

$$\begin{aligned} \rho_{max} &= 0.75 \times \frac{0.85 \times 30 \times 0.83}{250} \left(\frac{600}{600 + 240} \right) \\ &= 0.0059 \end{aligned}$$

Sehingga rasio tulangan yang digunakan adalah 0.0064

$$As = \rho \times b \times d$$

$$As = 0.0064 \times 300 \times 407 = 865 \text{ mm}^2$$

Maka jumlah tulangan yang dibutuhkan didapat dari persamaan

$$n = \frac{As}{A_{D19}} = \frac{865}{\pi \times 19^2 / 4} = 3.1 \approx 4$$

Sehingga konfigurasi tulangan longitudinal untuk lapangan dan tumpuan adalah 4D19

Tulangan Transversal Tumpuan

$$V_u = \frac{1}{2} \times q \times l$$

$$V_u = \frac{1}{2} \times 22.16 \times 5.6 = 62.06 \text{ KN}$$

$$V_c = 0.17 \times \sqrt{f'_c} \times b \times d$$

$$V_c = 0.17 \times \sqrt{30} \times 300 \times 407 = 113775 \text{ N}$$

$$0,5 \times V_c = 0,5 \times 113775 = 56887 \text{ N}$$

Karena $V_c > 0,5V_u$ maka digunakan tulangan minimum sesuai SNI 2847:2013 11.4.5.1

$$S_{max1} = d/2 = 407/2 = 203 \text{ mm}$$

$$S_{max2} = 600 \text{ mm}$$

Maka, jarak yang digunakan adalah 203 mm \approx **200 mm**

Syarat luas tulangan minimum dihitung berdasarkan SNI 28147:2013 pasal 11.4.6.3

$$A_{vmin} = 0,062 \sqrt{f'_c} \frac{b \times s}{f_y}$$

$$A_{vmin} = 0,062 \sqrt{30} \frac{300 \times 200}{250} = 83,63 \text{ mm}^2$$

$$A_v = 2 \times \pi \times D_{10}^2 \div 4 = 142,5 \text{ mm}^2$$

$$A_v > A_{vmin} \text{ (OK!)}$$

4.2.2 Perencanaan Plat

4.2.2.1 Pembebanan

$$\text{Beban mati plat} = 24000 \times 0.16 = 3840 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Beban mati tambahan} = 0.558 \text{ KN/m}^2 = 558 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Beban hidup} = 4.79 \text{ KN/m}^2 = 4790 \text{ N/m}^2$$

$$q_u = 1.2D + 1.6L = 10926 \text{ N/m}^2$$

sehinga didapat beban per meter panjang adalah

$$Q_u = 11455 \text{ N/m}$$

$$M_u = 0.001 \times Q_u \times Lx^2 \times X$$

Nilai X didapat dari PBI tabel 13.3.1.

$$\text{Momen lapangan X} = 3772073 \text{ N.mm}$$

$$\text{Momen tumpuan X} = 7454335 \text{ N.mm}$$

$$\text{Momen lapangan Y} = 718490 \text{ N.mm}$$

$$\text{Momen tumpuan Y} = 5119242 \text{ N.mm}$$

4.2.2.2 Penulangan

$$h = 90 \text{ mm}$$

$$\text{Tulangan longitudinal} = D13 (12.7 \text{ mm})$$

$$A_{\text{rebar}} = 126.6 \text{ mm}^2$$

42

$$dx = 90 - 0.5 \times 12.7 - 20 = 63.65 \text{ mm}$$

$$dy = 90 - 1.5 \times 12.7 - 20 = 50.95 \text{ mm}$$

$$\beta_1 = 0.83 \text{ (SNI 2847:2013 pasal 10.2.7.3)}$$

$$m = 250 / (0.85 \times 30) = 9,8$$

Lapangan X

$$Rn = \frac{Mu}{\phi b d^2}$$

$$Rn = \frac{3772073}{0.9 \times 1000 \times 63,6^2} = 1.034 \text{ MPa}$$

Rasio penulangan dihitung dengan persamaan

$$\rho = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times Rn}{0.85 \times f'_c}} \right)$$

$$\rho = \frac{1}{9.8} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 1.034}{0.85 \times 30}} \right) = 0.00423$$

Dengan batasan rasio tulangan terkecil mengacu pada SNI 2847:2013 pasal 10.5.1

$$\rho_{min_1} = \frac{1.4}{f_y} \text{ dan } \rho_{min_2} = \frac{0.25\sqrt{f_c}}{f_y}$$

$$\rho_{min_1} = \frac{1.4}{240} = 0.0056$$

$$\rho_{min_2} = \frac{0.25\sqrt{f_c}}{f_y} = 0.00548$$

$$\rho_{max} = 0,75 \times \frac{0.85 \times f'c \times \beta_1}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right)$$

$$\rho_{max} = 0,75 \times \frac{0.85 \times 30 \times 0.83}{250} \left(\frac{600}{600 + 240} \right)$$

$$= 0.0451$$

Sehingga rasio tulangan yang digunakan adalah 0.0056

$$As = \rho \times b \times dx$$

$$As = 0.0056 \times 1000 \times 63.65 = 356 \text{ mm}^2$$

$$s = \frac{1000}{As/A_{rebar}} = \frac{1000}{356/126} \approx 360 \text{ mm}$$

Tumpuan X

$$Rn = \frac{Mu}{\phi b d^2}$$

$$Rn = \frac{7454335}{0.9 \times 1000 \times 63,6^2} = 2.04 \text{ MPa}$$

Rasio penulangan dihitung dengan persamaan

$$\rho = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times Rn}{0.85 \times f'c}} \right)$$

$$\rho = \frac{1}{9.8} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 2,04}{0.85 \times 30}} \right) = 0.00853$$

Dengan batasan sebagai berikut

$$\rho_{min_1} = \frac{1.4}{f_y} \text{ dan } \rho_{min_2} = \frac{0.25\sqrt{f_c}}{f_y}$$

$$\rho_{min_1} = \frac{1.4}{240} = 0.0056$$

$$\rho_{min_2} = \frac{0.25\sqrt{f_c}}{f_y} = 0.00548$$

$$\rho_{max} = 0,75 \times \frac{0.85 \times f'_c \times \beta_1}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right)$$

$$\begin{aligned} \rho_{max} &= 0,75 \times \frac{0.85 \times 30 \times 0.83}{250} \left(\frac{600}{600 + 240} \right) \\ &= 0.0451 \end{aligned}$$

Sehingga rasio tulangan yang digunakan adalah 0.00853

$$As = \rho \times b \times dx$$

$$As = 0.00853 \times 1000 \times 63,6 = 543 \text{ mm}^2$$

$$s = \frac{1000}{As/A_{rebar}} = \frac{1000}{543/126} \approx 230 \text{ mm}$$

Lapangan Y

$$Rn = \frac{Mu}{\phi b d^2}$$

$$Rn = \frac{718490}{0.9 \times 1000 \times 50,9^2} = 0.307 \text{ MPa}$$

Rasio penulangan dihitung dengan persamaan

$$\rho = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times Rn}{0.85 \times f'c}} \right)$$

$$\rho = \frac{1}{9.8} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 0,307}{0.85 \times 30}} \right) = 0.00124$$

Dengan batasan rasio tulangan terkecil mengacu pada SNI 2847:2013 pasal 10.5.1

$$\rho_{min_1} = \frac{1.4}{f_y} \quad \text{dan} \quad \rho_{min_2} = \frac{0.25\sqrt{f_c}}{f_y}$$

$$\rho_{min_1} = \frac{1.4}{240} = 0.0056$$

$$\rho_{min_2} = \frac{0.25\sqrt{f_c}}{f_y} = 0.00548$$

$$\rho_{max} = 0,75 \times \frac{0.85 \times f'c \times \beta_1}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right)$$

$$\begin{aligned} \rho_{max} &= 0,75 \times \frac{0.85 \times 30 \times 0.83}{250} \left(\frac{600}{600 + 240} \right) \\ &= 0.0451 \end{aligned}$$

Sehingga rasio tulangan yang digunakan adalah 0.0056

$$A_s = \rho \times b \times d_y$$

$$A_s = 0.0056 \times 1000 \times 50.95 = 285 \text{ mm}^2$$

$$s = \frac{1000}{A_s/A_{rebar}} = \frac{1000}{285/126} \approx 440 \text{ mm}$$

Tumpuan Y

$$Rn = \frac{Mu}{\phi b d^2}$$

$$Rn = \frac{5119242}{0.9 \times 1000 \times 50,95^2} = 2,19 \text{ MPa}$$

Rasio penulangan dihitung dengan persamaan

$$\rho = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times Rn}{0.85 \times f'_c}} \right)$$

$$\rho = \frac{1}{9.8} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 2,19}{0.85 \times 30}} \right) = 0.00918$$

Dengan batasan sebagai berikut

$$\rho_{min_1} = \frac{1.4}{f_y} \quad \text{dan} \quad \rho_{min_2} = \frac{0.25\sqrt{f_c}}{f_y}$$

$$\rho_{min_1} = \frac{1.4}{240} = 0.0056$$

$$\rho_{min_2} = \frac{0.25\sqrt{f_c}}{f_y} = 0.00548$$

$$\rho_{max} = 0.75 \times \frac{0.85 \times f'_c \times \beta_1}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right)$$

$$\begin{aligned} \rho_{max} &= 0.75 \times \frac{0.85 \times 30 \times 0.83}{250} \left(\frac{600}{600 + 240} \right) \\ &= 0.0451 \end{aligned}$$

Sehingga rasio tulangan yang digunakan adalah 0.00812

$$As = \rho \times b \times dx$$

$$A_s = 0.00918 \times 1000 \times 69,5 = 467 \text{ mm}^2$$

$$s = \frac{1000}{A_s/A_{rebar}} = \frac{1000}{467/126} \approx 270 \text{ mm}$$

4.2.3 Perencanaan Tangga

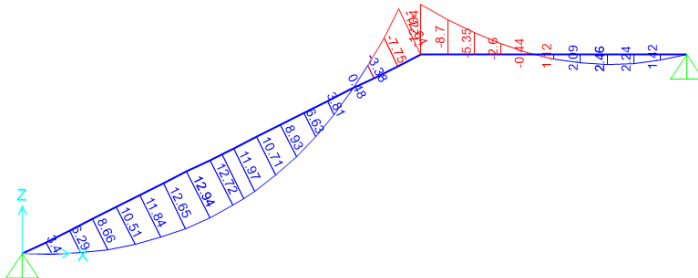
4.2.3.1 Pembebanan

$$\text{Beban mati plat} = 2400 \times 0,15 \times 1,5 = 540 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Beban mati tambahan} = 1 \text{ KN/m}^2 = 100 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Beban hidup} = 4.79 \text{ KN/m}^2 = 479 \text{ kg/m}^2$$

Dengan kombinasi beban $1,2D + 1,6L$ maka didapatkan bidang momen sebagai berikut:



Gambar 4. 7 Diagram momen tangga

Dari diagram tersebut didapat momn sebesar

$$M (+) = 12,94 \text{ KN.m}$$

$$M (-) = 12,64 \text{ KN.m}$$

4.2.3.2 Penulangan

$$d = 150 - 20 - 13 - 13/2 = 110,5 \text{ mm}$$

Tulangan longitudinal = D13

Tulangan susut = D13

Momen Positif

$$A_s = \frac{M_u}{f_y \times j \times d}$$

$$A_s = \frac{12940000}{250 \times 0,8 \times 110,5} = 585 \text{ mm}^2$$

$$A_{min} = \frac{1,4}{f_y} \times d \times b$$

$$A_{min} = \frac{1,4}{250} \times 110,5 \times 1500 = 928,2 \text{ mm}^2$$

Karena nilai $A_{min} > A_s$ maka nilai tulangan yang digunakan adalah A_{min} , sehingga didapatkan jumlah tulangan sebanyak

$$n = \frac{A_{pakai}}{A_{D13}}$$

$$n = \frac{928}{\pi \times 13^2 \times 0.25} = 6,99 \approx 7$$

Momen Negatif

$$A_s = \frac{M_u}{f_y \times j \times d}$$

$$A_s = \frac{12640000}{250 \times 0,8 \times 110,5} = 5571 \text{ mm}^2$$

$$A_{min} = \frac{1,4}{f_y} \times d \times b$$

$$A_{min} = \frac{1,4}{250} \times 110,5 \times 1500 = 928,2 \text{ mm}^2$$

Karena nilai $A_{\min} > A_s$ maka nilai tulangan yang digunakan adalah A_{\min} . sehingga didapatkan jumlah tulangan sebanyak

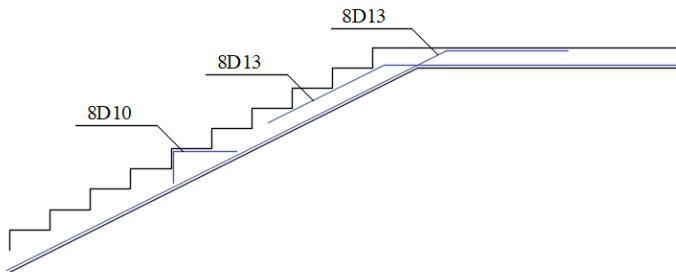
$$n = \frac{A_{pakai}}{A_{D13}}$$

$$n = \frac{928}{\pi \times 13^2 \times 0.25} = 6,99 \approx 7$$

Tulangan Susut

$$A_{\min} = \frac{1,4}{250} \times 110,5 \times 1000 = 618,8 \text{ mm}^2$$

$$s = \frac{1000}{A_{\min}/A_{D13}} = \frac{1000}{618/132,7} = 214 \text{ mm} \approx 200 \text{ mm}$$



Gambar 4. 8 Penulangan longitudinal tangga

4.3 Pembebanan dan Analisa Struktur

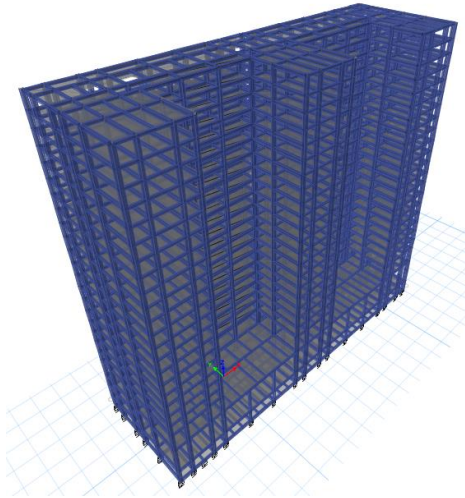
4.3.1 Umum

Dalam perencanaan gedung bertingkat perlu dilakukan adanya perencanaan pembebanan gravitasi maupun pembebanan gempa. Hal ini bertujuan agar struktur gedung tersebut mampu untuk memikul beban yang terjadi. Pembebanan gravitasi mengacu pada ketentuan SNI 1727:2013

dan PPIUG 1983, dan pembebanan gempa dengan mengacu pada SNI 1726:2012, yang di dalamnya terdapat ketentuan dan persyaratan perhitungan beban gempa.

4.3.2 Permodelan Struktur

Dalam perhitungan analisis beban gempa perlu suatu pemodelan struktur. Struktur gedung terdiri dari 24 lantai dengan tinggi total mencapai 76 m. Permodelan gedung berlokasi di Jakarta.



Gambar 4. 9 Permodelan gedung pada program ETABS

4.3.3 Pembebanan Gravitasi

Pembebanan Gravitasi berupa beban mati dan beban hidup yang bekerja pada gedung. Beban mati dan hidup yang dipehitungkan berupa

- Beban mati (PPIUG)

- Berat beton bertulang = 2400 kg/m^3
- Acian = 21 kg/m^2
- MEP = 25 kg/m^2
- Plafon = 11 kg/m^2
- Tegel = 24 kg/m^2
- Adukan finishing = 21 kg/m^2
- Beban hidup (SNI 1727:2013)
 - Pakiran = $1,92 \text{ KN/m}^2$
 - Tempat tinggal apartemen = $1,92 \text{ KN/m}^2$
 - Tempat publik = $4,79 \text{ KN/m}^2$

Tabel 4. 4 Tabel beban hidup per lantai

Live load	area load	area	Load Per story
	KN/m ²	m ²	KN
base floor	1.92	2072.36	3978.9312
1st floor	4.79	2072.36	9926.6044
2nd floor	4.79	1276.24	6113.1896
3rd floor	4.79	2072.36	9926.6044
4th floor and the rest	1.92	1467.97	2818.5024
crown floor	0.96	1467.97	1409.2512
total			84906.1264

Tabel 4. 5 Tabel berat mati tambahan per lantai

Dead load	area load	area	Load Per story
	KN/m2	m2	KN
Base floor	0.9996	2072.36	2071.531056
1st floor	0.9996	2072.36	2071.531056
2nd floor	0.9996	1276.24	1275.729504
3rd floor	0.9996	2072.36	2071.531056
4th floor and the rest	0.9996	1469.14	1468.552344
crown floor	0.9996	1469.14	1468.552344
total			36861.36955

Dari perhitungan manual, didapat total berat struktur sebesar 271785 KN

Bila dibandingkan dengan hasil perhitungan ETABS didapat

Tabel 4. 6 Perbandingan hasil perhitungan manual dan ETABS

Load	Manual Calculation (KN)	Program calculation	Error
Dead load + structure weight	308646.4608	297655.1362	3.56%
Live load	84906.1264	80791.7786	4.85%

4.3.4 Penentuan Kelas Situs

Kelas situs dapat ditentukan menggunakan data dari hasil uji SPT pada lokasi proyek. Kelas situs ini akan berpengaruh pada gaya gempa yang akan diterima oleh struktur gedung.

Tabel 4. 7 Hasil uji SPT

Depth (m)	N
1	9
2	11
4	8
6	7
8	10
10	11
12	35
14	50
16	50
18	50
20	38
22	48
24	50
26	50
28	50
30	38
32	50
34	50
36	50
38	50
40	41

Dihitung nilai N rata rata dihitung sesuai SNI 1726:2012 pasal 5.4.2 dan ditentukan kelas situsnya berdasarkan SNI 1726:2012 tabel 3.

Dari perhitungan yang mengacu SNI didapat

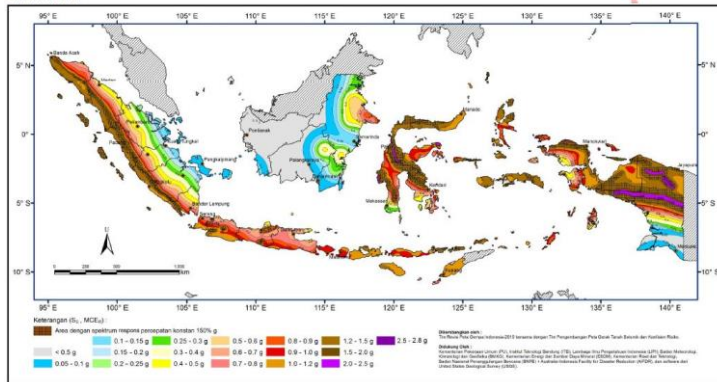
$$N = 22.5$$

$$\text{Situs} = D$$

4.3.5 Grafik Respon Spektrum

Grafik respon spektrum pada analisa *nonlinear time history analysis* berfungsi untuk mengskalakan *accelerogram* yang didapat dari suatu daerah. Perhitungan grafik respon spektrum berdasarkan SNI 1726:2012

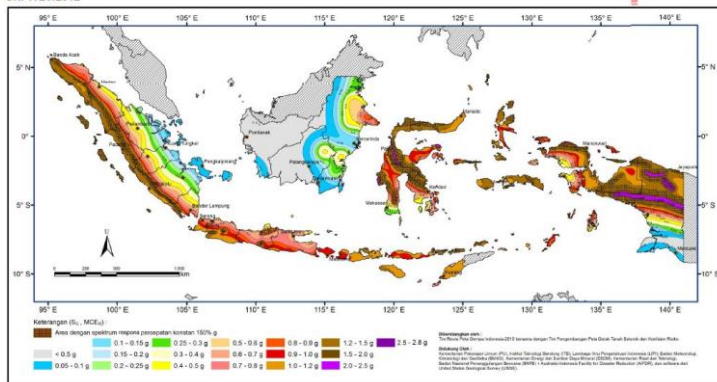
SNI 1726:2012



Gambar 4. 10 Nilai S_s Indonesia

Dari gambar didapat nilai S_s sebesar **0,673 g**

SNI 1726:2012



Gambar 4. 11 Nilai S_1 Indonesia

Dari gambar didapat nilai S_1 sebesar **0,296 g**

Dari SNI 1726:2012 tabel 4 dan tabel 5 didapat nilai F_a sebesar 1,268 dan F_v sebesar 1.815.

Nilai S_{MS} dan S_{DS} dihitung berdasarkan SNI 1726:2013 pasal 6.2

$$S_{MS} = F_a \times S_s = 1,268 \times 0,673 = 0,843 \text{ g}$$

$$S_{M1} = F_v \times S_1 = 1,815 \times 0,296 = 0,531 \text{ g}$$

Nilai S_{DS} dan S_{D1} dihitung berdasarkan SNI 1726:2013 pasal 6.3

$$S_{DS} = \frac{2}{3} \times S_{MS} = \frac{2}{3} \times 0,843 = 0,562 \text{ g}$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} \times S_{M1} = \frac{2}{3} \times 0,531 = 0,354 \text{ g}$$

Dari nilai S_{DS} dan S_{D1} dapat dicari nilai T_0 dan T_s

$$T_0 = 0,2 \times \frac{S_{D1}}{S_{DS}} = 0,2 \times \frac{0,354}{0,562} = 0,126 \text{ s}$$

$$T_s = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} = \frac{0,354}{0,562} = 0,63 \text{ s}$$

Dari nilai S_{DS} , S_{D1} , T_0 dan T_s dapat dicari nilai S_a sesuai persamaan

Ketika $T < T_0$ maka

$$S_a = S_{DS} \times \left(0,4 + 0,6 \frac{T}{T_0} \right)$$

Ketika $T_0 < T < T_s$ maka

$$S_a = S_{DS}$$

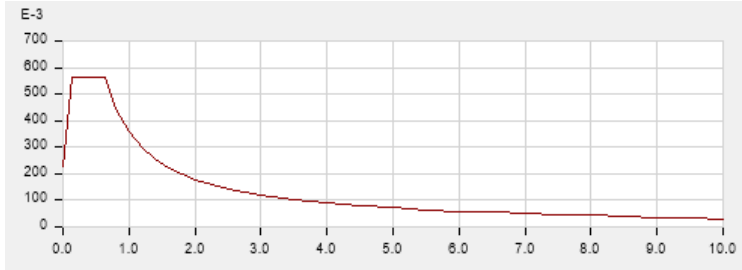
Ketika $T_s < T$ maka

$$S_a = \frac{S_{D1}}{T}$$

Sehingga didapat fungsi S_a berdasarkan T dengan nilai

Tabel 4. 8 Nilai Sa terhadap T

T (s)	Sa (g)
0	0.226415
0.126	0.566038
0.63	0.566038
0.8	0.445973
1	0.356779
1.2	0.297316
1.4	0.254842
1.6	0.222987
1.8	0.19821
2	0.178389
2.5	0.142711
3	0.118926
3.5	0.101937
4	0.089195
4.5	0.079284
5	0.071356
5.5	0.064869
6	0.059463
6.5	0.054889
7	0.050968
7.5	0.04757
8	0.044597
8.5	0.039505
9	0.035237
9.5	0.031626
10	0.028542



Gambar 4. 12 Grafik respon spektrum jakarta

4.3.6 Perhitungan Nilai T_D , T_M , D_D dan D_M

Menurut SNI 1726:2012 pasal 12.5.3 *Base Isolator* tidak boleh defleksi lebih besar dari D_M dan memiliki perpindahan rencana sebesar D_D .

Nilai D_D dihitung sesuai SNI 1726:2012 pasal 12.5.3.1

$$D_D = \frac{g \times S_{D1} \times T_D}{4 \times \pi^2 \times B_D}$$

Sedangkan nilai D_M dapat dihitung sesuai SNI 1726:2012 pasal 12.5.3.3

$$D_M = \frac{g \times S_{M1} \times T_M}{4 \times \pi^2 \times B_M}$$

Nilai T_D dapat dihitung sesuai SNI 1726:2012 pasal 12.5.3.2

$$T_D = 2\pi \sqrt{\frac{m}{K_D}}$$

Dan nilai T_M dihitung sesuai SNI 1726:2012 pasal 12.5.3.4

$$T_M = 2\pi \sqrt{\frac{m}{K_M}}$$

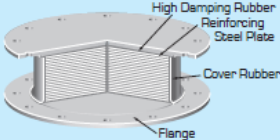
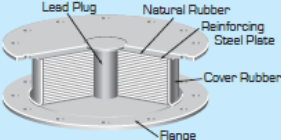
Dimana:

- D_D Perpindahan rencana isolasi dasar
- D_M Perpindahan maksimum isolasi dasar
- T_D Periode akibat kekakuan efektif pada perpindahan rencana
- T_M Periode akibat kekakuan efektif pada perpindahan maksimum
- K_D Kekakuan efektif pada perpindahan rencana
- K_M Kekakuan efektif pada perpindahan maksimum
- m massa efektif yang bekerja di atas isolasi dasar
- B_D & B_M Koefisien numerik terkait redaman yang diatur dalam SNI 1726:2012 tabel 22 dan dapat dilihat di tabel 4.10

Tabel 4. 9 Daftar nilai B_D dan B_M

Redaman efektif	B_D dan B_M
<2	0,8
5	1
10	1,2
20	1,5
30	1,7
40	1,9

Dari brosur Bridgestone didapat spesifikasi *Base Isolator* yang digunakan sebagai berikut.

	Features	Sectional View
<div><div>HDR</div><div>High Damping Rubber Bearing</div></div>	<p>High damping rubber includes both spring and damping characteristics. Generally, a separate damper is not required, making it an excellent choice for areas with space constraints. Since its hysteresis curves are relatively smooth, seismic isolation can also be extended to the equipment inside the building. There are 3 different elastic moduli available (EO.3R, EO.4S, XO.6R). From light column loads until high rise building can be accommodated.</p>	
<div><div>LRB</div><div>Lead Rubber Bearing</div></div>	<p>This bearing includes a lead plug embedded at the centre of a laminated natural rubber structure, where the rubber incorporates the spring capability and the lead plug provides the damping capability. Generally, a separate damper is not required making it a good choice for areas with space constraints. Its hysteresis resembles elastoplastic materials. The attenuation can be tuned by varying the lead plug diameter. One type of rubber material is available (GO.4Q).</p>	

Gambar 4. 13 Perbandingan antara HDRB dan LRB

Tabel 4. 10 Spesifikasi HDRB HL060X6R

HDRB HL060X6R			
Number used	8		
Rubber Height	0.16 m		
Mass	580 N.s ² /m		
Area	282600 mm ²		
Damping coef	11.9 KN.s/m		
Initial stiffness	6400 KN/m		
Post yield stiff.	640 KN/m		
equivalent stiff.	1080 KN/m		
yield strength	71.5 KN		
yield deflection	11.2 mm		
allowable strain			
σ (MPa)	41	41	7
γ	0	1.4	3.3

Tabel 4. 11 Spesifikasi HDRB HT090X6R

HDRB HT090X6R			
Number used	16		
Rubber Height	0.25 m		
Mass	1730 N.s ² /m		
Area	635900 mm ²		
Damping coef	32.96 KN.s/m		
Initial stiffness	9260 KN/m		
Post yield stiff.	926 KN/m		
equivalent stiff.	1560 KN/m		
yield strength	161 KN		
yield deflection	17.4 mm		
allowable strain			
σ (MPa)	38	38	6
γ	0	0	3.2

Tabel 4. 12 Spesifikasi LRB LT090G4K

LRB LT090G4K			
Number used	16		
Rubber Height	0.25 m		
Mass	1870 N.s ² /m		
Area	594600 mm ²		
Damping coef	41.9 KN.s/m		
Initial stiffness	13100 KN/m		
Post yield stiff.	999.53 KN/m		
equivalent stiff.	2320 KN/m		
yield strength	331 KN		
yield deflection	25.3 mm		
allowable strain			
σ (MPa)	37	37	7.4
γ	0	0	3.5

Tabel 4. 13 Spesifikasi LRB LL090G4K

LRB LL090G4K			
Number used	24		
Rubber Height	0.16 m		
Mass	1500 N.s ² /m		
Area	594600 mm ²		
Damping coef	45.7 KN.s/m		
Initial stiffness	19400 KN/m		
Post yield stiff.	1489.92 KN/m		
equivalent stiff.	3450 KN/m		
yield strength	331 KN		
yield deflection	17.1 mm		
allowable strain			
σ (MPa)	37	37	7.4
γ	0	0	3.5

Untuk menghitung nilai K_M maka semua kekakuan ekivalen saat perpindahan maksimum base isolator dijumlah. Sehingga didapat nilai K_M sebesar **153520 KN/m**. Sehingga nilai K_D diasumsikan sebesar 1,5 kali dari nilai K_D sebesar **230280 KN/m**.

Massa efektif dari seluruh struktur menurut SNI 1726:2012 pasal 7.7.2 adalah semua beban mati ditambah dengan 25% beban hidup, maka didapat massa per lantai seperti tabel 4.11 dengan total massa struktur sebesar **32560273 kg**.

Tabel 4. 14 Massa per lantai

floor	mass (kg)
crown	1033906.1
23rd	1204272.2
22nd	1190980.1
21st	1190980.1
20th	1190980.1
19th	1190980.1
18th	1210098.3
17th	1232011.5
16th	1232011.5
15th	1232011.5
14th	1232011.5
13th	1232011.5
12th	1232011.5
11th	1242333.8
10th	1252656.1
9th	1242333.8
8th	1232011.5
7th	1232011.5
6th	1232011.5
5th	1194485.5
4th	1380299.1
3rd	1905438.8
2nd	1333671.9
1st	1859354.5
Base	1849399.4

Maka didapat nilai T_M dan T_D sesuai persamaan di atas

$$T_D = 2\pi \sqrt{\frac{32560,273}{230280}} = 2,36 \text{ detik}$$

$$T_M = 2\pi \sqrt{\frac{32560,273}{153520}} = 2,89 \text{ detik}$$

Dari nilai T_M dan T_D maka didapat nilai D_D dan D_M

$$D_D = \frac{9,8 \times 0,354 \times 2,36}{4 \times \pi^2 \times 1} = 0,208 \text{ m}$$

$$D_M = \frac{9,8 \times 0,531 \times 2,89}{4 \times \pi^2 \times 1} = 0,383 \text{ m}$$

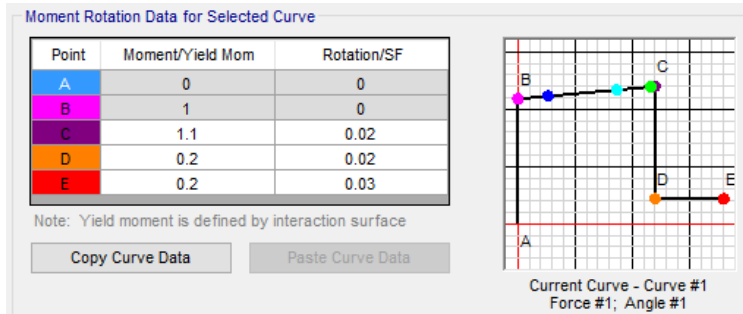
4.3.7 Sendi Plastis

Pada *nonlinear time history analysis* dibutuhkan sendi plastis pada setiap elemen struktur untuk mempertimbangkan respon dari struktur pasca leleh. Perencanaan *backbone curve* pada perencanaan struktur gedung ini mengacu pada FEMA 273 tabel 6-6 untuk balok dan tabel 6-7 untuk kolom,

Tabel 4. 15 Nilai performance level dan backbone curve

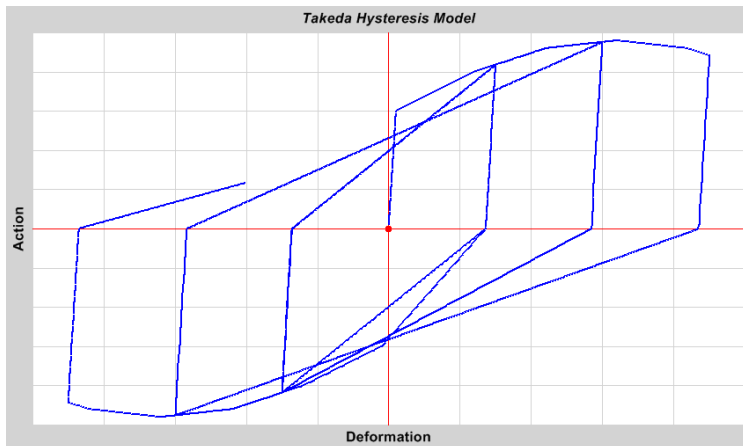
Elemen	plastic rotation		residual	Performance level		
	a	b	c	IO	LS	CP
Beam	0.025	0.05	0.2	0.005	0.02	0.025
Column	0.02	0.03	0.2	0.005	0.01	0.02

Elemen	Backbone curve				
	A	B	C	D	E
Beam	0	0	0.025	0.025	0.05
Column	0	0	0.02	0.02	0.03



Gambar 4. 14 Input backbone curve kolom pada program ETABS

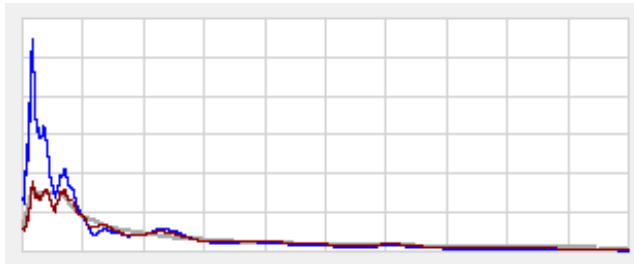
Diagram histerisis pada analisa ini menggunakan tipe Takeda. Tipe takeda cocok untuk elemen beton bertulang karena nilai redaman yang dihasilkan tidak besar dan nilai paling mendekati dengan elemen beton bertulang.



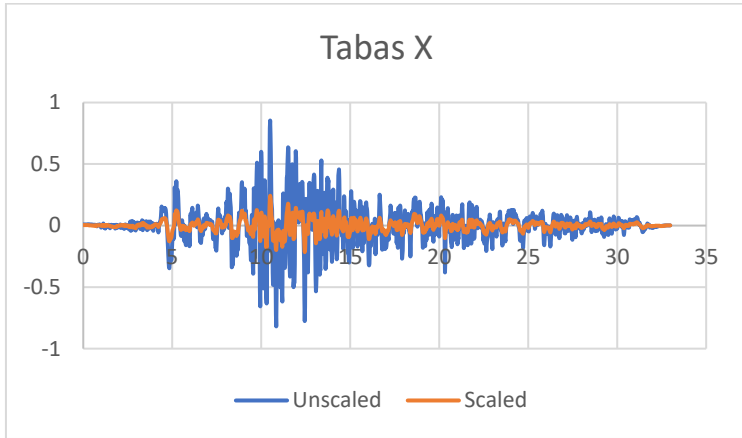
Gambar 4. 15 Diagram histerisis Takeda

4.3.8 Pembebanan Gempa *Nonlinear Time History*

Ada tiga data percepatan gerak tanah yang digunakan pada permodelan ini. Gempa Tabas, Imperial Valley dan Manjil. Gempa tersebut dipilih karna memiliki *Peak Ground Acceleration* (PGA) yang tinggi, dan memiliki periode gerak tanah yang lebih tinggi dari gempa lainnya. Data *accelorogram* yang didapat pada gempa tersebut harus diskalakan berdasarkan grafik respon spektrum di lokasi gedung, Jakarta. Penskalaan harus memenuhi SNI 1726:2012 pasal 12.3.2 di mana nilai spektrum respon dari riwayat gerak tanah yang diskalakan tidak boleh kurang dari spektrum respon wilayah struktur saat $0,5T_D$ hingga $1,25T_M$.

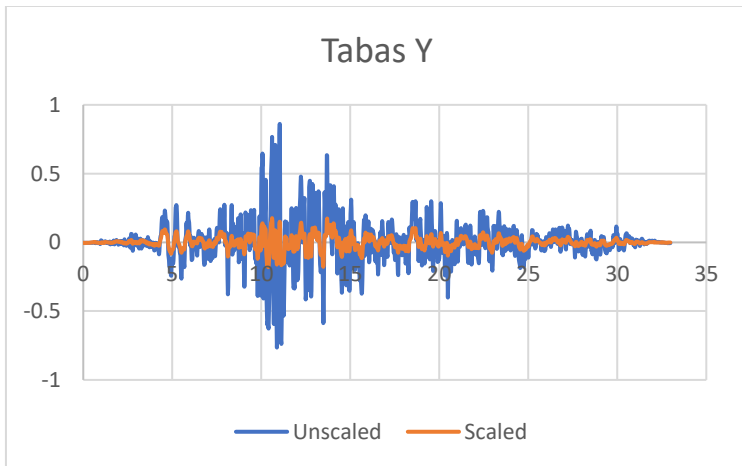


Gambar 4. 16 Grafik spektrum respon gempa manjil sebelum (biru) dan sesudah (coklat) diskalakan



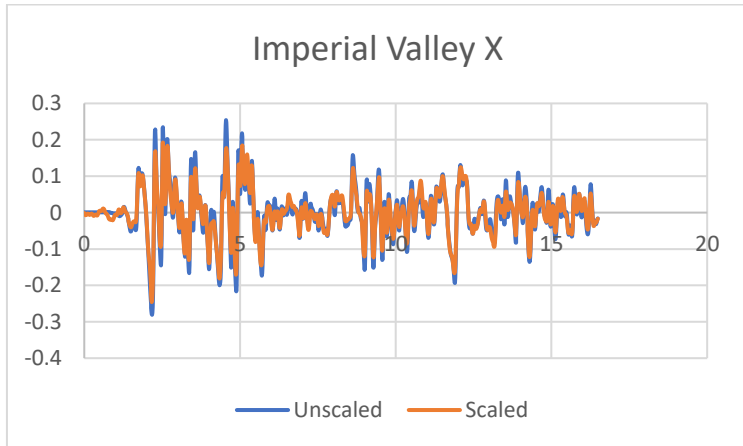
Gambar 4. 17 *Accelerogram* gempa Tabas arah X yang sudah dan belum diskalakan.

Faktor skala pada penskalaan antara gempa Tabas dan gempa Jakarta arah X sebesar 0,284



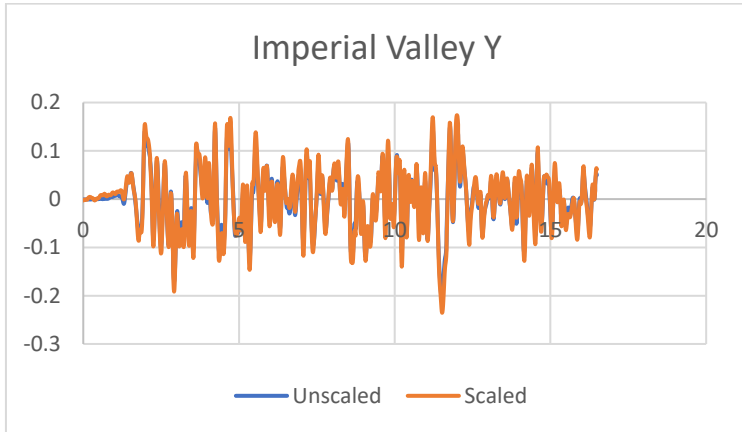
Gambar 4. 18 *Accelerogram* gempa Tabas arah Y yang sudah dan belum diskalakan.

Faktor skala pada penskalaan antara gempa Tabas dan gempa Jakarta arah Y sebesar 0,204



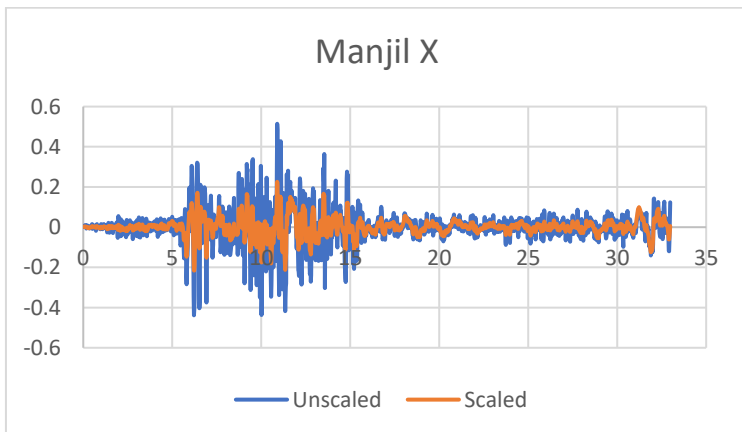
Gambar 4. 19 *Accelerogram* gempa Imperial Valley arah X yang sudah dan belum diskalakan.

Faktor skala pada penskalaan antara gempa Imperial Valley dan gempa Jakarta arah X sebesar 0,758

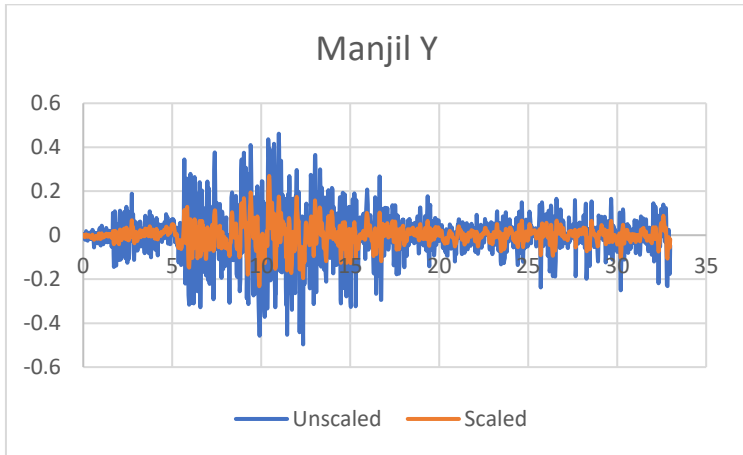


Gambar 4. 20 *Accelerogram* gempa Imperial Valley arah Y yang sudah dan belum diskalakan.

Faktor skala pada penskalaan antara gempa Imperial Valley dan gempa Jakarta arah Y sebesar 1,156



Gambar 4. 21 *Accelerogram* gempa Manjil arah X yang sudah dan belum diskalakan



Gambar 4. 22 *Accelerogram* gempa Manjil arah Y yang sudah dan belum diskalakan

4.3.9 Kontrol Partisipasi Massa

Sesuai dengan SNI 1726:2012, Perhitungan gempa dinamis harus sedemikian rupa sehingga struktur menghasilkan partisipasi massa sekurang kurangnya adalah 90%.

Tabel 4. 16 Partisipasi massa

mode	period (s)	SUM UX	SUM UY
1	4.029	0.0011	0.8612
2	3.716	0.9126	0.8625
3	1.853	0.9127	0.9243
4	0.829	0.9875	0.9391
5	0.343	0.9999	0.9997
6	0.027	0.9999	0.9997
7	0.013	0.9999	0.9997
8	0.012	0.9999	0.9998
9	0.003	1	0.9998
10	0.001	1	0.9998

Dari tabel diatas didapatkan bahwa dalam penjumlahan respon ragam menghasilkan respon total telah mencapai 90% untuk arah X dan arah Y. maka ketentuan menurut SNI 1726:2012 pasal 7.9.1 terpenuhi.

4.3.10 Kontrol Base Shear Beban Gempa Dinamis

Massa efektif dari struktur gedung apartemen menurut SNI 1726:2012 pasal 7.7.2 adalah semua beban mati ditambah dengan 25% dari beban hidup. Sehingga, dari perhitungan ETABS didapat beban gempa statis sebesar

$$V_{\text{statik}} = 23358.982 \text{ KN}$$

Menurut SNI 1726:2012 pasal 12.5.4.2 nilai V_{statik} tidak boleh kurang dari nilai V_s , di mana nilai V_s bernilai

$$V_s = \frac{K_D \times D_D}{R}$$

Sehingga didapat nilai V_s sebesar

$$V_s = \frac{230280 \times 0,208}{2} = 24040 \text{ KN}$$

Karena nilai $V_s > V_{\text{statik}}$ maka diambil nilai V_{statik} sama dengan V_s .

Menurut SNI 1726:2012 pasal 12.6.4.2 apabila konfigurasi struktur beraturan, nilai gaya geser gempa dinamis boleh diambil kurang dari 80% tetapi tidak boleh kurang dari 60%.

Tabel 4. 17 Gaya geser dan rasio gaya gempa Tabas terhadap gaya gempa statis

Tabas			
Arah	Gaya	Rasio gempa statis	Kontrol
Fx	22102.7692	0.94204585	OK!
Fy	15049.9948	0.641448364	OK!

Tabel 4. 18 Gaya geser dan rasio gaya gempa Manjil terhadap gaya gempa statis

Manjil			
Arah	Gaya	Rasio gempa statis	Kontrol
Fx	15470.5011	0.659370834	OK!
Fy	15712.38	0.669679995	OK!

Tabel 4. 19 Gaya geser dan rasio gaya gempa Manjil terhadap gaya gempa statis

Imperial Valley			
Arah	Gaya	Rasio gempa statis	Kontrol
Fx	19150.3145	0.816208781	OK!
Fy	14238.0849	0.606843816	OK!

4.3.11 Kontrol Simpangan Antar Lantai

Menurut SNI 1726:2012 Pasal 12.6.4.4 nilai C_d adalah 2 dan drift izin sebesar **0,02** untuk struktur yang dianalisa dengan riwayat respon dengan elemen elemen nonlinier.

Tabel 4. 20 Simpangan maksimum gempa Tabas

Time History (Tabas)					
Floor	X		Y		kontrol
	Story drift	$Cd \times \text{drift}$	Story drift	$Cd \times \text{drift}$	
Crown	0.000724	0.001448	0.001517	0.003034	OK!
23rd	0.000954	0.001908	0.001901	0.003802	OK!
22nd	0.001227	0.002454	0.002333	0.004666	OK!
21st	0.001504	0.003008	0.002744	0.005488	OK!
20th	0.001768	0.003536	0.003096	0.006192	OK!
19th	0.002008	0.004016	0.00337	0.00674	OK!
18th	0.002117	0.004234	0.00351	0.00702	OK!
17th	0.002282	0.004564	0.00362	0.00724	OK!
16th	0.002426	0.004852	0.003669	0.007338	OK!
15th	0.002539	0.005078	0.003664	0.007328	OK!
14th	0.002616	0.005232	0.003616	0.007232	OK!
13th	0.002659	0.005318	0.003539	0.007078	OK!
12th	0.002688	0.005376	0.003453	0.006906	OK!
11th	0.002884	0.005768	0.003599	0.007198	OK!
10th	0.003133	0.006266	0.003825	0.00765	OK!
9th	0.003219	0.006438	0.003984	0.007968	OK!
8th	0.003271	0.006542	0.004236	0.008472	OK!
7th	0.003268	0.006536	0.004604	0.009208	OK!
6th	0.00321	0.00642	0.00498	0.00996	OK!
5th	0.003151	0.006302	0.005277	0.010554	OK!
4th	0.003289	0.006578	0.005724	0.011448	OK!
3rd	0.002521	0.005042	0.005025	0.01005	OK!
2nd	0.001896	0.003792	0.003957	0.007914	OK!
1st	0.001008	0.002016	0.002165	0.00433	OK!

Tabel 4. 21 Simpangan maksimum gempa Imperial Valley

Time History (Imperial Valley)					
Floor	X		Y		kontrol
	Story drift	$Cd \times \text{drift}$	Story drift	$Cd \times \text{drift}$	
Crown	0.000954	0.001908	0.001384	0.002768	OK!
23rd	0.001286	0.002572	0.001726	0.003452	OK!
22nd	0.001657	0.003314	0.00208	0.00416	OK!
21st	0.002001	0.004002	0.002371	0.004742	OK!
20th	0.002291	0.004582	0.002566	0.005132	OK!
19th	0.002507	0.005014	0.002653	0.005306	OK!
18th	0.002527	0.005054	0.002628	0.005256	OK!
17th	0.002594	0.005188	0.002661	0.005322	OK!
16th	0.002613	0.005226	0.002633	0.005266	OK!
15th	0.002583	0.005166	0.002585	0.00517	OK!
14th	0.00254	0.00508	0.002826	0.005652	OK!
13th	0.002508	0.005016	0.003115	0.00623	OK!
12th	0.002562	0.005124	0.003408	0.006816	OK!
11th	0.002787	0.005574	0.003712	0.007424	OK!
10th	0.002889	0.005778	0.003909	0.007818	OK!
9th	0.002854	0.005708	0.003968	0.007936	OK!
8th	0.002815	0.00563	0.004019	0.008038	OK!
7th	0.002744	0.005488	0.004044	0.008088	OK!
6th	0.002696	0.005392	0.00401	0.00802	OK!
5th	0.002667	0.005334	0.003942	0.007884	OK!
4th	0.0028	0.0056	0.004057	0.008114	OK!
3rd	0.00214	0.00428	0.003402	0.006804	OK!
2nd	0.0016	0.0032	0.002601	0.005202	OK!
1st	0.000771	0.001542	0.001397	0.002794	OK!

Tabel 4. 22 Simpangan maksimum gempa Manjil

Time History (Manjil)					
Floor	X		Y		kontrol
	Story drift	$Cd \times \text{drift}$	Story drift	$Cd \times \text{drift}$	
Crown	0.000625	0.00125	0.001121	0.002242	OK!
23rd	0.000853	0.001706	0.001367	0.002734	OK!
22nd	0.001108	0.002216	0.001641	0.003282	OK!
21st	0.001344	0.002688	0.001899	0.003798	OK!
20th	0.001543	0.003086	0.002117	0.004234	OK!
19th	0.00169	0.00338	0.002288	0.004576	OK!
18th	0.001712	0.003424	0.002384	0.004768	OK!
17th	0.00185	0.0037	0.00247	0.00494	OK!
16th	0.001973	0.003946	0.002534	0.005068	OK!
15th	0.002074	0.004148	0.002587	0.005174	OK!
14th	0.002147	0.004294	0.002638	0.005276	OK!
13th	0.002236	0.004472	0.002748	0.005496	OK!
12th	0.002318	0.004636	0.002894	0.005788	OK!
11th	0.002408	0.004816	0.003057	0.006114	OK!
10th	0.002399	0.004798	0.003178	0.006356	OK!
9th	0.002339	0.004678	0.00324	0.00648	OK!
8th	0.002308	0.004616	0.003397	0.006794	OK!
7th	0.002254	0.004508	0.003747	0.007494	OK!
6th	0.002176	0.004352	0.004025	0.00805	OK!
5th	0.002104	0.004208	0.004245	0.00849	OK!
4th	0.002179	0.004358	0.004526	0.009052	OK!
3rd	0.001694	0.003388	0.003896	0.007792	OK!
2nd	0.001305	0.00261	0.003025	0.00605	OK!
1st	0.000683	0.001366	0.001623	0.003246	OK!

4.3.12 Kontrol *Base Isolator*

Menurut SNI 1726:2012 pasal 12.5.3.3 perpindahan maksimum base isolator tidak boleh melebihi nilai D_M . Dan menurut spesifikasi *Base Isolator* nilai kombinasi tegangan dan regangan tidak boleh melebihi nilai kombinasi tegangan dan regangan izin.

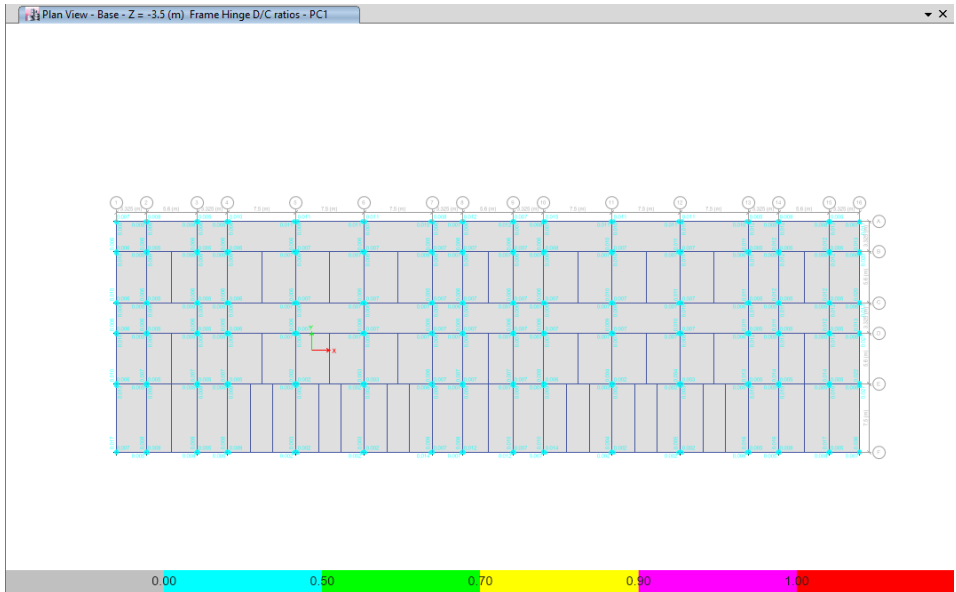
Tabel 4. 23 Tabel kontrol base isolator

Tipe	h mm	A mm ²	UX mm	UY mm	Umax mm	FZ N	σ MPa	γ	D _m mm	Kontrol
LRB LL090G4K	160	594600	24.6	16.9	29.84577	7459590	12.54556	0.186536	383.5739	OK!
LRB LT090G4K	250	594600	24.1	21.7	32.42992	6009000	10.10595	0.12972	383.5739	OK!
HDRB HL060X6R	160	282600	21.9	16.9	27.66261	2425447	8.582615	0.172891	383.5739	OK!
HDRB HL090X6R	250	635900	24.1	18.8	30.5655	7895096	12.41563	0.122262	383.5739	OK!

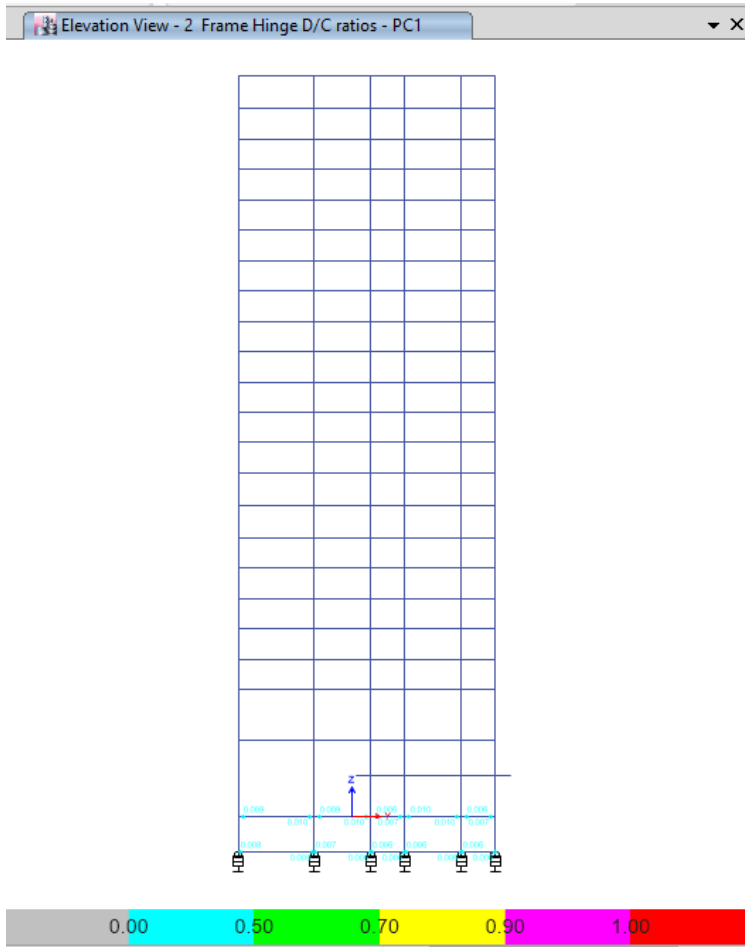
4.3.13 Kontrol *Hinge Status* Elemen

Dari hasil perhitungan ETABS ketika struktur telah mengalami tiga gerak tanah gempa didapat semua sendi plastis

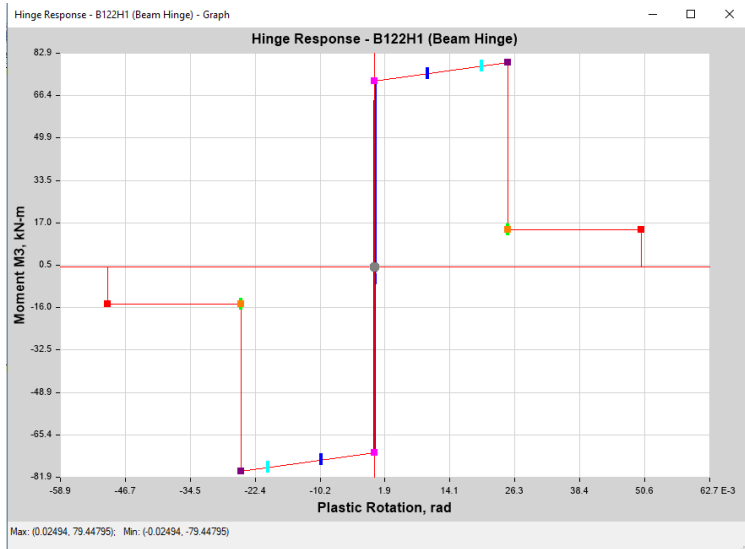
berada pada status *immediate occupancy* (IO) dengan maksimum *plastic rotation* sebesar **0.000353 rad**.



Gambar 4. 23 tingkat kerusakan pada lantai dasar

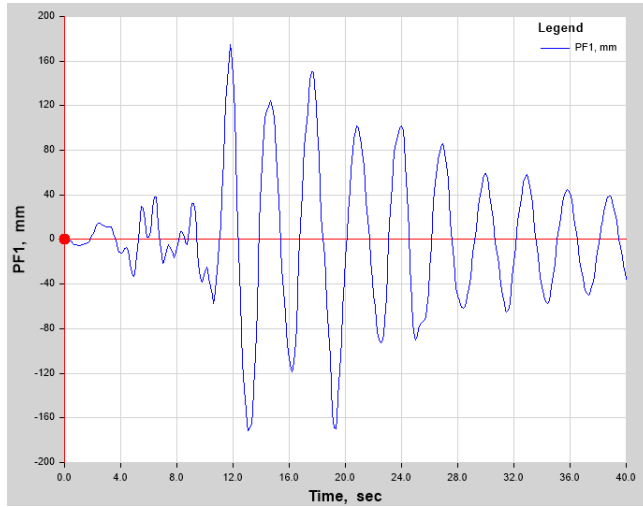


Gambar 4. 24 Tingkat kerusakan gedung pada potongan 2

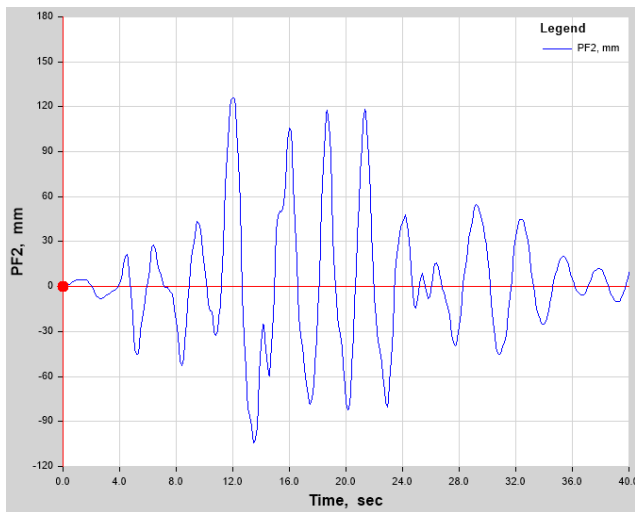


Gambar 4. 25 Respon salah satu sendi di balok saat terkena gempa Tabas

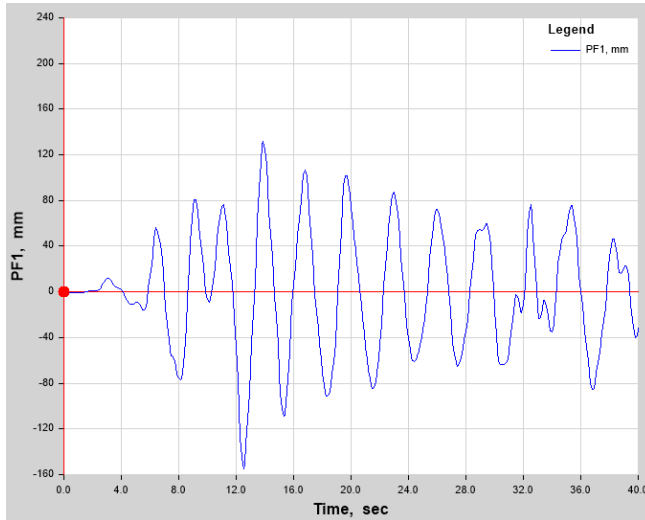
4.3.14 Respon Struktur Terhadap Gempa



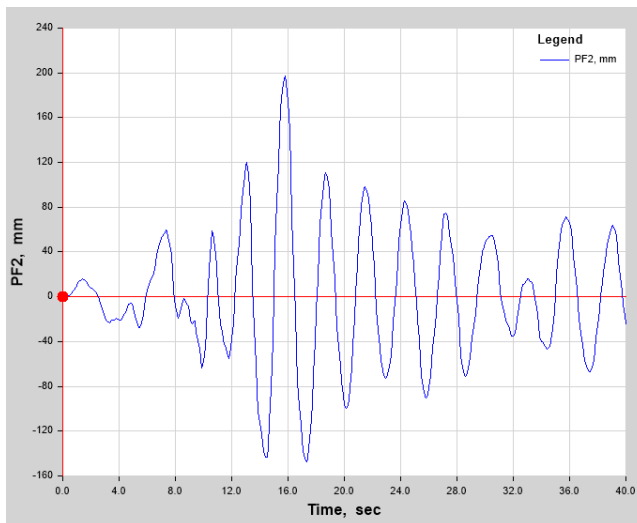
Gambar 4. 26 Respon struktur arah X terhadap gempa Tabas



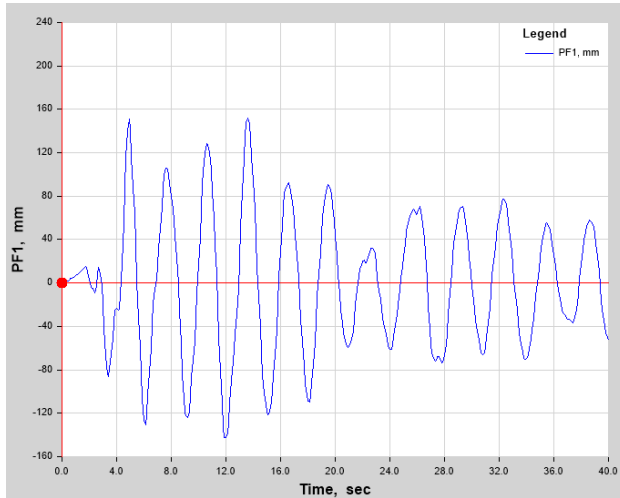
Gambar 4. 27 Respon struktur arah Y terhadap gempa Tabas



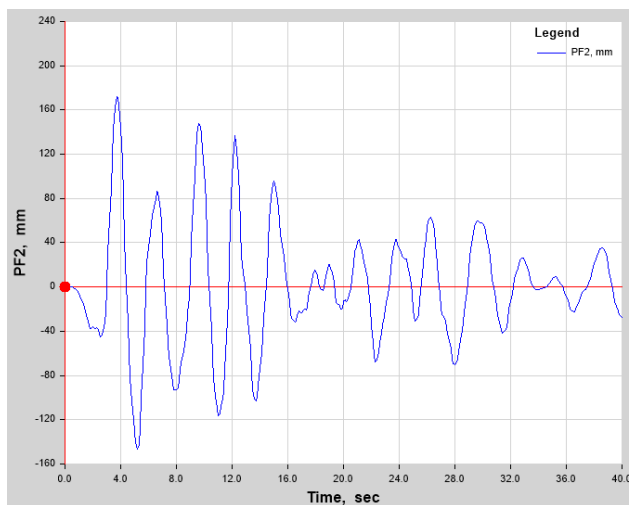
Gambar 4. 28 Respon struktur arah X terhadap gempa Manjil



Gambar 4. 29 Respon struktur arah Y terhadap gempa Manjil



Gambar 4. 30 Respon struktur arah X terhadap gempa Imperial Valley



Gambar 4. 31 Respon struktur arah Y terhadap gempa Imperial Valley

4.3.15 Kontrol Ketidakberaturan Torsi

Ketidakberaturan torsi yang terjadi pada struktur gedung diperbolehkan dengan syarat permodelan sesuai dengan SNI 1726:2012 pasal 7.3.3.4. ketidakberaturan torsi dihitung menggunakan cara

$$A = \frac{x_{max}}{x_{avg}}$$

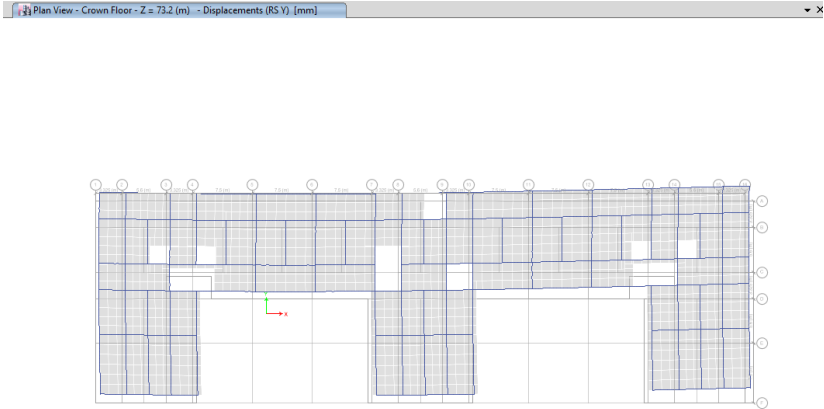
Di mana:

x_{max} = simpangan maksimum di lantai paling atas pada titik ujung gedung

x_{avg} = simpangan rata-rata dari ujung satu dan ujung lainnya pada lantai paling atas

dari permodelan ETABS saat terjadi gempa ke arah Y didapat nilai x_1 sebesar 189 mm dan x_2 sebesar 320 mm. sehingga didapat nilai A sebesar

$$A = \frac{320}{320 + 189/2} = 1.257$$



Gambar 4. 32 Defleksi akibat gempa arah Y

Maka dari hasil perhitungan di atas struktur termasuk memiliki ketidak beraturan torsi tipe 1a sesuai pada SNI 1726:2012 tabel 10. Hal yang harus dilakukan ketika struktur mengalami ketidak beraturan torsi adalah:

- Pasal 7.3.3.4
Perhitungan sambungan dari elemen horizontal terhadap elemen vertikal harus ditingkatkan 25%. Elemen yang dimaksud adalah elemen yang menerima beban gempa
- Pasal 7.7.3
Permodelan struktur harus memperhatikan pengaruh P-delta dengan permodelan tiga dimensi dengan dengan derajat kebebasan minimal tiga arah. Dua rah translasi horizontal dan satu arah rotasi vertikal (torsi)
- Pasal 7.8.4.3
Mengkalikan momen torsi tiap lantai (M_{ta}) dengan nilai A_x , di mana A_x didapat menggunakan persamaan

$$A_x = \left(\frac{A}{1.2} \right)^2$$

Sehingga didapat nilai A_x sebesar

$$A_x = \left(\frac{1.257}{1.2} \right)^2 = 1.097$$

- Pasal 7.12.1
Simpangan struktur tidak melebihi dari $0,02 \times h_x$
- Tabel 13
Prosedur perhitungan beban gempa harus menggunakan analisa spektrum respons atau *time history*.
- Pasal 12.2.2
Nilai S_{M1} dan S_{ms} harus diperhitungkan sesuai dari SNI 1726:2012 pasal 6.2

4.3.16 Perbandingan Fix Based dan Base Isolated

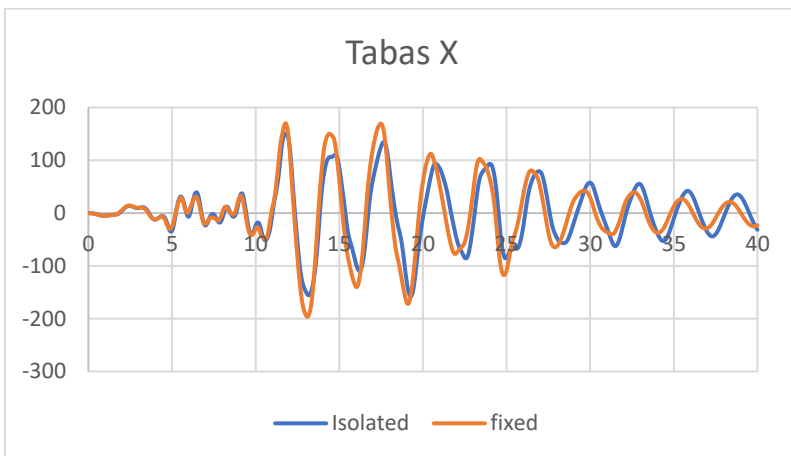
Perbandingan pada subbab ini ingin menunjukkan seberapa pengaruhnya *base isolator* dalam meredam beban gempa dan bagaimana perbedaan dari respon struktur.

Perbandingan base shear

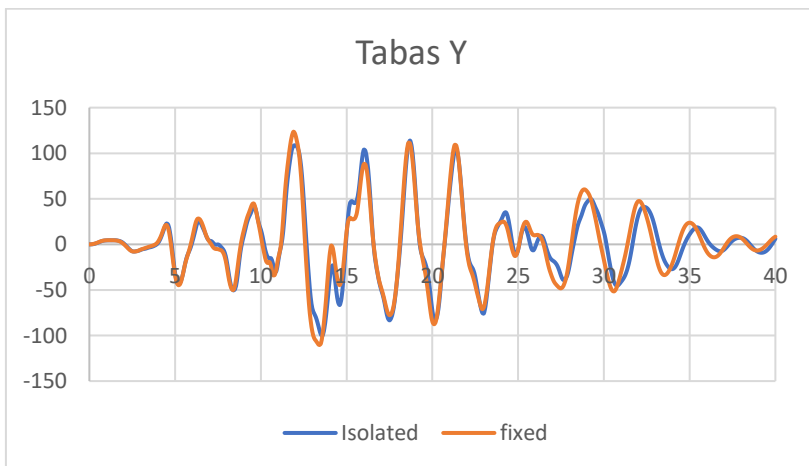
Tabel 4. 24 Perbandingan Base Shear

Respon Spektrum			
direction	isolated	fixed	selisih
X	13898	15424	11.0%
Y	10025	11189	11.6%

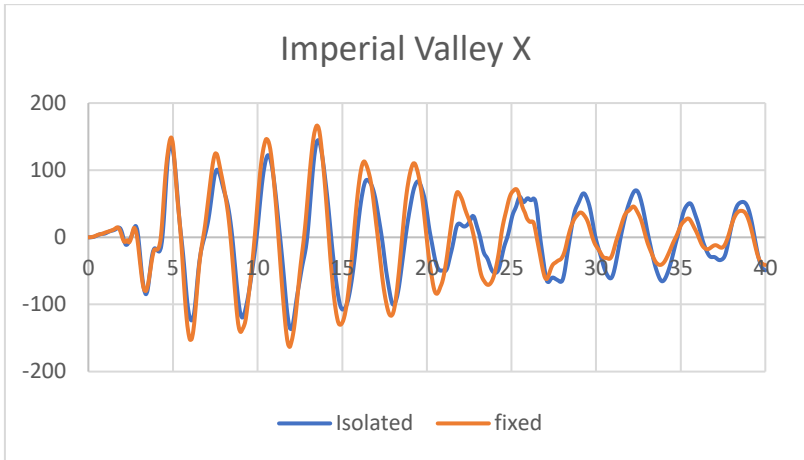
Perbandingan Perpindahan Lantai Crown



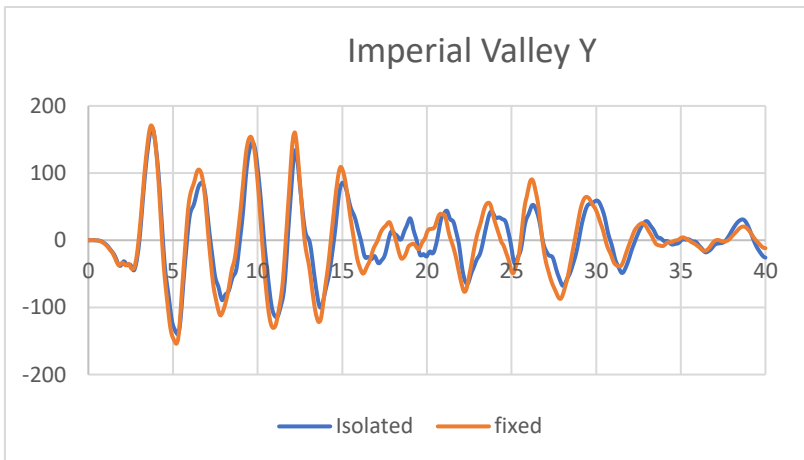
Gambar 4. 33 perpindahan lantai crown arah X pada gempa Tabas



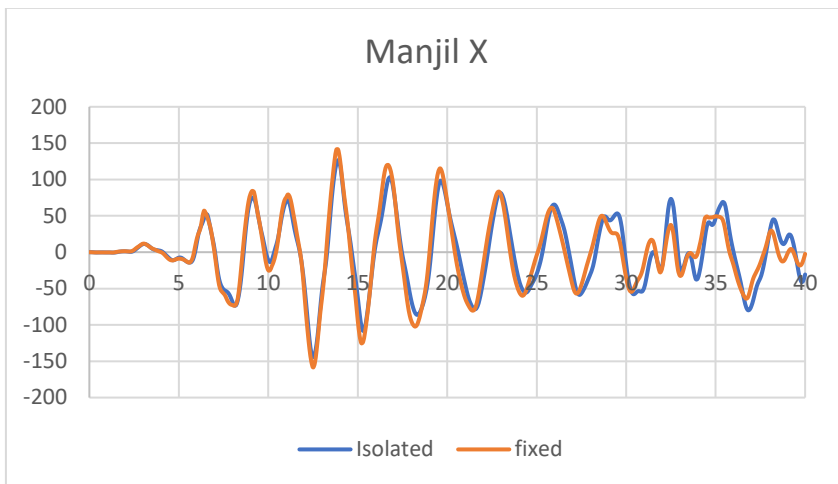
Gambar 4. 34 Perpindahan lantai crown arah Y pada gempa Tabas



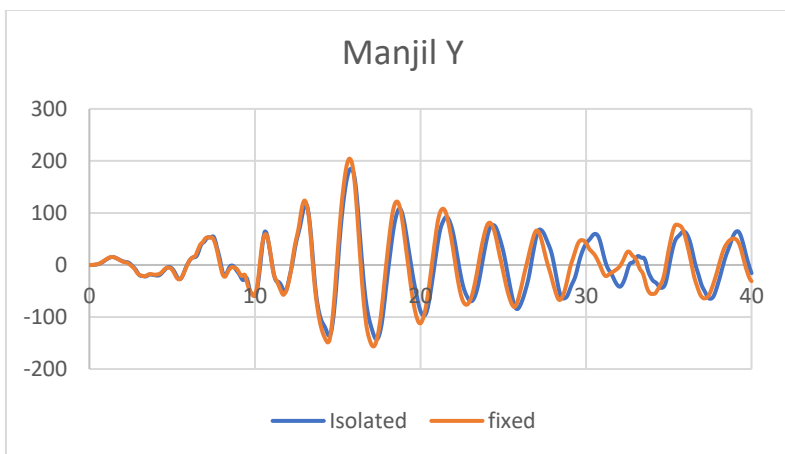
Gambar 4. 35 Perpindahan lantai crown arah X pada gempa Imperial Valley



Gambar 4. 36 Perpindahan lantai crown arah Y pada gempa Imperial Valley



Gambar 4. 37 Perpindahan lantai crown arah X pada gempa Manjil



Gambar 4. 38 Perpindahan lantai crown arah Y pada gempa Manjil

Perbandingan *Interstory Drift*

Tabel 4. 25 Perbandingan *interstory drift* gempa Tabas

Tabas						
floor	X			Y		
	isolated	fixed	selisih	isolated	fixed	selisih
crown	0.000724	0.000901	24.4%	0.001517	0.001545	1.8%
23rd	0.000954	0.001208	26.6%	0.001901	0.001926	1.3%
22nd	0.001227	0.00155	26.3%	0.002333	0.002344	0.5%
21st	0.001504	0.001866	24.1%	0.002744	0.00273	0.5%
20th	0.001768	0.002132	20.6%	0.003096	0.003047	1.6%
19th	0.002008	0.002329	16.0%	0.00337	0.003281	2.6%
18th	0.002117	0.002348	10.9%	0.00351	0.00338	3.7%
17th	0.002282	0.002455	7.6%	0.00362	0.003454	4.6%
16th	0.002426	0.002583	6.5%	0.003669	0.003474	5.3%
15th	0.002539	0.002676	5.4%	0.003664	0.003449	5.9%
14th	0.002616	0.002735	4.5%	0.003616	0.003387	6.3%
13th	0.002659	0.002804	5.5%	0.003539	0.003407	3.7%
12th	0.002688	0.002972	10.6%	0.003453	0.003404	1.4%
11th	0.002884	0.003142	8.9%	0.003599	0.003416	5.1%
10th	0.003133	0.003177	1.4%	0.003825	0.003484	8.9%
9th	0.003219	0.003073	4.5%	0.003984	0.003632	8.8%
8th	0.003271	0.003086	5.7%	0.004236	0.003833	9.5%
7th	0.003268	0.003209	1.8%	0.004604	0.00409	11.2%
6th	0.00321	0.003398	5.9%	0.00498	0.004443	10.8%
5th	0.003151	0.003709	17.7%	0.005277	0.004838	8.3%
4th	0.003289	0.004434	34.8%	0.005724	0.005507	3.8%
3rd	0.002521	0.004075	61.6%	0.005025	0.005358	6.6%
2nd	0.001896	0.003618	90.8%	0.003957	0.004575	15.6%
1st	0.001008	0.001688	67.5%	0.002165	0.002024	6.5%

Tabel 4. 26 Perbandingan *interstory drift* gempa Imperial Valley

Imperial Valley						
floor	X			Y		
	isolated	fixed	selisih	isolated	fixed	selisih
crown	0.000954	0.000948	0.6%	0.001384	0.001426	3.0%
23rd	0.001286	0.001278	0.6%	0.001726	0.001728	0.1%
22nd	0.001657	0.00164	1.0%	0.00208	0.002062	0.9%
21st	0.002001	0.001968	1.6%	0.002371	0.002374	0.1%
20th	0.002291	0.002234	2.5%	0.002566	0.002636	2.7%
19th	0.002507	0.002422	3.4%	0.002653	0.002834	6.8%
18th	0.002527	0.002418	4.3%	0.002628	0.002939	11.8%
17th	0.002594	0.002464	5.0%	0.002661	0.003009	13.1%
16th	0.002613	0.002606	0.3%	0.002633	0.003031	15.1%
15th	0.002583	0.002705	4.7%	0.002585	0.003012	16.5%
14th	0.00254	0.002757	8.5%	0.002826	0.003208	13.5%
13th	0.002508	0.002762	10.1%	0.003115	0.003474	11.5%
12th	0.002562	0.002735	6.8%	0.003408	0.003703	8.7%
11th	0.002787	0.00275	1.3%	0.003712	0.003909	5.3%
10th	0.002889	0.002835	1.9%	0.003909	0.003978	1.8%
9th	0.002854	0.002812	1.5%	0.003968	0.003955	0.3%
8th	0.002815	0.00281	0.2%	0.004019	0.003964	1.4%
7th	0.002744	0.002831	3.2%	0.004044	0.003961	2.1%
6th	0.002696	0.002885	7.0%	0.00401	0.003958	1.3%
5th	0.002667	0.003021	13.3%	0.003942	0.004	1.5%
4th	0.0028	0.003523	25.8%	0.004057	0.004299	6.0%
3rd	0.00214	0.003189	49.0%	0.003402	0.004174	22.7%
2nd	0.0016	0.002842	77.6%	0.002601	0.003492	34.3%
1st	0.000771	0.001325	71.9%	0.001397	0.001459	4.4%

Tabel 4. 27 Perbandingan *interstory drift* pada gempa Manjil

Manjil						
floor	X			Y		
	isolated	fixed	selisih	isolated	fixed	selisih
crown	0.000625	0.000777	24.3%	0.001121	0.00107	4.5%
23rd	0.000853	0.00104	21.9%	0.001367	0.001269	7.2%
22nd	0.001108	0.001333	20.3%	0.001641	0.001513	7.8%
21st	0.001344	0.001603	19.3%	0.001899	0.001772	6.7%
20th	0.001543	0.00183	18.6%	0.002117	0.00203	4.1%
19th	0.00169	0.001999	18.3%	0.002288	0.002277	0.5%
18th	0.001712	0.002025	18.3%	0.002384	0.002469	3.6%
17th	0.00185	0.002096	13.3%	0.00247	0.002654	7.4%
16th	0.001973	0.002138	8.4%	0.002534	0.002816	11.1%
15th	0.002074	0.002149	3.6%	0.002587	0.002954	14.2%
14th	0.002147	0.002135	0.6%	0.002638	0.003062	16.1%
13th	0.002236	0.002107	5.8%	0.002748	0.003142	14.3%
12th	0.002318	0.002177	6.1%	0.002894	0.003206	10.8%
11th	0.002408	0.002273	5.6%	0.003057	0.003271	7.0%
10th	0.002399	0.002279	5.0%	0.003178	0.003299	3.8%
9th	0.002339	0.002195	6.2%	0.00324	0.003341	3.1%
8th	0.002308	0.002129	7.8%	0.003397	0.003451	1.6%
7th	0.002254	0.002136	5.2%	0.003747	0.003559	5.0%
6th	0.002176	0.002157	0.9%	0.004025	0.00367	8.8%
5th	0.002104	0.002229	5.9%	0.004245	0.003829	9.8%
4th	0.002179	0.002628	20.6%	0.004526	0.004199	7.2%
3rd	0.001694	0.002448	44.5%	0.003896	0.003936	1.0%
2nd	0.001305	0.002222	70.3%	0.003025	0.003278	8.4%
1st	0.000683	0.001045	53.0%	0.001623	0.001416	12.8%

4.4 Perencanaan Struktur Primer

4.4.1 Perencanaan Balok Induk

Preliminary design balok induk menggunakan persamaan

Mutu beton = 30 MPa

Mutu baja = 250 MPa

Dimensi Balok = 400×650 mm

Jarak antar balok = 4000 mm

Longitudinal bar = D32

Transveral bar = D13

$D = h - \text{cover} - D_{\text{transversal}} - 0,5 \times D_{\text{Longitudinal}}$

$d = 650 - 40 - 13 - 0,5 \times 32 = 581$ mm

$d' = \text{cover} + D_{\text{transversal}} + 0,5 \times D_{\text{Longitudinal}}$

$d' = 40 + 13 + 0,5 \times 32 = 68$ mm

Lebar sayap

$b_e 1 = 8 \times t_p \times 2 + b = 8 \times 90 \times 2 + 400 = 1840$ mm

$b_e 2 = 2 \times s + b = 2 \times 4000 + 400 = 8400$ mm

$b_e 3 = \frac{1}{4} \times L_b = \frac{1}{4} \times 7500 = 1875$ mm

maka lebar sayap gunakan 1840 mm

Momen yang terjadi (ETABS)

Tumpuan

Positif = + 273,46 KN.m

Negatif = - 478,79 KN.m

Lapangan

Positif = + 206,35 KN.m

Negatif = - 184,61 KN.m

Perhitungan tulangan longitudinal

Tumpuan

Menurut SNI 2847:2013 pasal 21.5.2.1 luas tulangan longitudinal pada beton tidak boleh melewati abtas dari

$$A_s \max = 0,025 \times b \times d$$

$$A_s \max = 0,025 \times 400 \times 581 = 5841 \text{ mm}^2$$

$$A_s \min = \frac{1,4 \times b \times d}{f_y}$$

$$A_s \min = \frac{1,4 \times 400 \times 650}{250} = 1302$$

$$A_s = \frac{M_u}{f_y \times j \times d}$$

$$A_s \text{ atas} = \frac{478790000}{250 \times 0,85 \times 581} = 3875 \text{ mm}^2$$

Maka nilai A_s untuk tulangan bagian atas tumpuan yang digunakan adalah **3875 mm²**. Sehingga didapat konfigurasi tulangan **5D32** dengan nilai A_s **3958 mm²**. Sesuai dengan ketentuan FEM 273 tabel 6 – 6 maka jumlah tulangan atas dan tulangan bawah disamakan.

Kontrol momen nominal

Karena jumlah tulangan atas dan bawah sama, maka tulangan tekan dipastikan belum leleh.

$$f_s = 600 \times \left| 1 - \frac{0,85 \times \beta_1 \times f'_c}{(\rho - \rho') \times f_y} \times \frac{d'}{d} \right|$$

$$f_s = 600 \times \left| 1 - \frac{0,85 \times 0,83 \times 30}{0 \times 250} \times \frac{68}{581} \right| = 70,7 \text{ MPa}$$

Nilai a dan ϕ saat momen positif

$$a = \frac{A_s \times f_y - A'_s \times f_s}{0,85 \times f_c \times b e}$$

$$a = \frac{3875 \times 250 \times 2 - 3875 \times 70,1}{0,85 \times 30 \times 1840} = 36,2 \text{ mm}$$

$$\frac{a}{\beta_1 \times d} = \frac{36,2}{0,83 \times 581} = 0,07$$

Menurut SNI 2847:2013 pasal 9.3.2.2 jika nilai c/d lebih kecil dari 0,375 maka nilai ϕ adalah **0,9**

Nilai a dan ϕ saat momen negatif

$$a = \frac{A_s \times f_y - A'_s \times f_s}{0,85 \times f_c \times b w}$$

$$a = \frac{3875 \times 250 \times 2 - 3875 \times 70,1}{0,85 \times 30 \times 400} = 166,2 \text{ mm}$$

$$\frac{a}{\beta_1 \times d} = \frac{166,2}{0,83 \times 581} = 0,34$$

Menurut SNI 2847:2013 pasal 9.3.2.2 jika nilai c/d lebih kecil dari 0,375 maka nilai ϕ adalah **0,9**

Sehingga didapat momen nominal sebesar

$$\phi M_n = (A_s \times f_y - A'_s \times f_s) \times \left(d - \frac{a}{2}\right) + A'_s \times f_s \times (d - d')$$

$$\phi M_n(+) = 0,9 \times \left((3875 \times 2 \times 250 - 3875 \times 70) \times \left(581 - \frac{36}{2}\right) + 3875 \times 70,1 \times (581 - 68)\right) = 861,464 \text{ KN.m}$$

$$\phi M_n(+) > M_u(+) \text{ (OK!)}$$

$$\begin{aligned}
 \phi M_n(-) &= 0,9 \times \left((3875 \times 2 \times 250 - 3875 \times 70) \right. \\
 &\quad \times \left(581 - \frac{166}{2} \right) \\
 &\quad \left. + 3875 \times 70,1 \times (581 - 68) \right) \\
 &= 761,77 \text{ KN.m}
 \end{aligned}$$

$$\phi M_n(-) > M_u(-) \text{ (OK!)}$$

Lapangan

$$A_s = \frac{M_u}{f_y \times j \times d}$$

$$A_{s \text{ bawah}} = \frac{206350000}{250 \times 0,85 \times 581} = 1670 \text{ mm}^2$$

Maka nilai A_s untuk tulangan bagian atas tumpuan yang digunakan adalah **1670 mm²**. Sehingga didapat konfigurasi tulangan **3D32** dengan nilai A_s **2375 mm²**. Sesuai dengan ketentuan FEM 273 tabel 6 – 6 maka jumlah tulangan atas dan tulangan bawah disamakan.

Kontrol momen nominal

Karena jumlah tulangan atas dan bawah sama, maka tulangan tekan dipastikan belum leleh.

$$f_s = 600 \times \left| 1 - \frac{0,85 \times \beta_1 \times f'_c}{(\rho - \rho') \times f_y} \times \frac{d'}{d} \right|$$

$$f_s = 600 \times \left| 1 - \frac{0,85 \times 0,83 \times 30}{0 \times 250} \times \frac{68}{581} \right| = 70,7 \text{ MPa}$$

Nilai a dan ϕ saat momen positif

$$a = \frac{A_s \times f_y - A'_s \times f_s}{0,85 \times f_c \times b e}$$

$$a = \frac{2375 \times 250 \times 2 - 2375 \times 70.1}{0,85 \times 30 \times 1840} = 21.7 \text{ mm}$$

$$\frac{a}{\beta_1 \times d} = \frac{21,7}{0,83 \times 581} = 0,04$$

Menurut SNI 2847:2013 pasal 9.3.2.2 jika nilai c/d lebih kecil dari 0,375 maka nilai ϕ adalah **0,9**

Nilai a dan ϕ saat momen negatif

$$a = \frac{A_s \times f_y - A'_s \times f_s}{0,85 \times f_c \times b w}$$

$$a = \frac{2375 \times 250 \times 2 - 2375 \times 70.1}{0,85 \times 30 \times 400} = 99,9 \text{ mm}$$

$$\frac{a}{\beta_1 \times d} = \frac{99,9}{0,83 \times 581} = 0,207$$

Menurut SNI 2847:2013 pasal 9.3.2.2 jika nilai c/d lebih kecil dari 0,375 maka nilai ϕ adalah **0,9**

Sehingga didapat momen nominal sebesar

$$\phi M_n = (A_s \times f_y - A'_s \times f_s) \times \left(d - \frac{a}{2}\right) + A'_s \times f_s \times (d - d')$$

$$\phi M_n(+) = 0,9 \times \left((2375 \times 2 \times 250 - 2375 \times 70) \times \left(581 - \frac{21}{2}\right) + 2375 \times 70,1 \times (581 - 68) \right) = 523,52 \text{ KN.m}$$

$$\phi M_n (+) > M_u (+) \text{ (OK!)}$$

$$\begin{aligned}
 \phi M_n(-) &= 0,9 \times \left((2375 \times 2 \times 250 - 2375 \times 70) \right. \\
 &\quad \times \left(581 - \frac{99,9}{2} \right) \\
 &\quad \left. + 2375 \times 70,1 \times (581 - 68) \right) \\
 &= 487,637 \text{ KN.m}
 \end{aligned}$$

$$\phi M_n(-) > M_u(-) \text{ (OK!)}$$

Perhitungan tulangan transversal

Akibat geser

Dari hasil analisa ETABS didapatkan nilai geser maksimum sebesar **183 KN** pada perletakkan dan **140 KN** pada seperempat bentang balok. Nilai ini yang akan dipertimbangkan untuk memperhitungkan tulangan transversal.

Daerah sendi plastis

Menurut SNI 2847:2013 pasal 21.5.4.2 mensyaratkan nilai $V_c = 0$. Maka jarak antar sengkang didapat

$$\begin{aligned}
 s &= \frac{A_v \times f_y \times d}{V_u} \\
 s &= \frac{2 \times 132 \times 250 \times 581}{183000} = 84,21 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Menurut SNI 2847:2013 pasal 21.5.3.2 jarak sengkang tidak boleh melebihi

$$s_{min1} = d/4 = 581/4 = 145 \text{ mm}$$

$$s_{min2} = 6 \times d_{longitudinal} = 6 \times 32 = 192 \text{ mm}$$

$$s_{min} 3 = 150 \text{ mm}$$

Sehingga jarak antar sengkang yang digunakan adalah **80 mm**.
dan didapat nilai A_v/s sebesar

$$\frac{A_v}{s} = \frac{2 \times \pi \times 13^2 \div 4}{80} = 3,16 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

Akibat torsi

Dari ETABS didapat nilai torsi pada tumpuan sebesar

$$T_u = 58,332 \text{ KN.m}$$

Menurut SNI 2847:2013 pasal 11.5.2.2 nilai torsi boleh diabaikan apabila nilai T_u kurang dari T_c . Dengan T_c sebesar

$$T_c = \phi \frac{\sqrt{f'_c}}{12} \times \frac{A_{cp}^2}{P_{cp}}$$

Dimana:

A_{cp} = luas dari balok yang terkena torsi

P_{cp} = keliling dari balok yang terkena torsi

$$T_c = 0,75 \times \frac{\sqrt{30}}{12} \times \frac{(650 \times 400)^2}{2 \times (600 + 400)} = 14,692 \text{ KN.m}$$

Karena nilai $T_c < T_u$, maka torsi diperhitungkan. Nilai A_v/s dapat dihitung dengan peraturan SNI 2847:2013 pasal 11.5.3.6

$$\frac{A_t}{s} = \frac{T_n}{2 \times A_o \times f_y \times \cot(\theta)}$$

Di mana:

A_t = kebutuhan tulangan sengkang transversal (mm^2)

$$T_n = T_u / \phi \text{ (N.mm)}$$

$$A_o = 0,85 \text{ dari luas permukaan beton dalam sengkang (mm}^2\text{)}$$

$$\theta = \text{nilai } \theta \text{ adalah } 45^\circ \text{ untuk beton non prategang menurut SNI 2847:2013 pasal 11.5.3.6}$$

$$A_o = 0,85 \times (400 - 2 \times (40 + 13)) \times (650 - 2 \times (40 + 13)) = 136373 \text{ mm}^2$$

$$\frac{A_t}{s} = \frac{58332000 / 0,75}{2 \times 136373 \times 250 \times \cot(45)} = 1,14 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

Sehingga jarak sengkang total didapat sebesar

$$\frac{A_{sengkang}}{s} = \frac{A_t}{s} + \frac{A_v}{s}$$

$$\frac{A_{sengkang}}{s} = 1,14 + 3,16 = 4,3 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

Sehingga didapat jarak antar sengkang sebesar 57 mm \approx **50 mm**

Di luar sendi plastis

Perhitungan sengkang di luar sendi plastis di mulai dari jarak 1200 mm dari muka kolom, dari persamaan segitiga didapat nilai V_u sebesar

$$V_u = 140 \text{ KN}$$

$$s = \frac{A_v \times f_y \times d}{V_u}$$

$$s = \frac{2 \times 132 \times 250 \times 581}{140000} = 96,3 \text{ mm}$$

Menurut SNI 2847:2013 pasal 21.5.3.4 jarak sengkang di luar sendi plastis tidak boleh melebihi

$$s_{min} = d/2 = 581/2 = 290 \text{ mm}$$

Sehingga jarak antar sengkang yang digunakan adalah **90 mm**. dan didapat nilai A_v/s sebesar

$$\frac{A_v}{s} = \frac{2 \times \pi \times 13^2 \div 4}{90} = 2,8 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

Akibat torsi

Dari ETABS didapat nilai torsi pada tumpuan sebesar

$$T_u = 40,7 \text{ KN.m}$$

Menurut SNI 2847:2013 pasal 11.5.2.2 nilai torsi boleh diabaikan apabila nilai T_u kurang dari T_c . Dengan T_c sebesar

$$T_c = \phi \frac{\sqrt{f'_c}}{12} \times \frac{A_{cp}^2}{P_{cp}}$$

Dimana:

A_{cp} = luas dari balok yang terkena torsi

P_{cp} = keliling dari balok yang terkena torsi

$$T_c = 0,75 \times \frac{\sqrt{30}}{12} \times \frac{(650 \times 400)^2}{2 \times (600 + 400)} = 14,692 \text{ KN.m}$$

Karena nilai $T_c < T_u$, maka torsi diperhitungkan. Nilai A_v/s dapat dihitung dengan peraturan SNI 2847:2013 pasal 11.5.3.6

$$\frac{A_t}{s} = \frac{T_n}{2 \times A_o \times f_y \times \cot(\theta)}$$

Di mana:

A_t = kebutuhan tulangan sengkang transversal (mm^2)

T_n = T_u / ϕ (N.mm)

A_o = 0,85 dari luas permukaan beton dalam sengkang (mm^2)

θ = nilai θ adalah 45° untuk beton non prategang menurut SNI 2847:2013 pasal 11.5.3.6

$$A_o = 0,85 \times (400 - 2 \times (40 + 13)) \times (650 - 2 \times (40 + 13)) = 136373 \text{ mm}^2$$

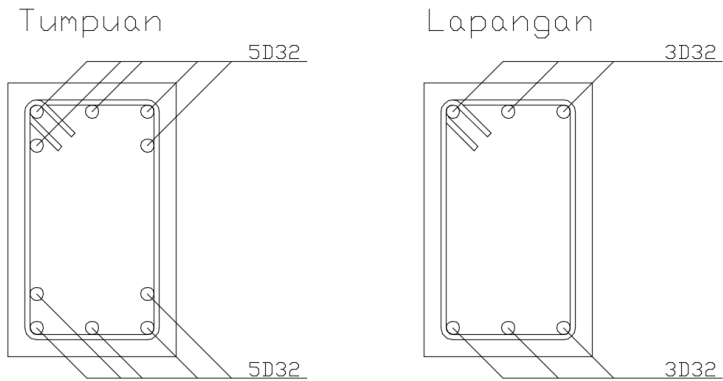
$$\frac{A_t}{s} = \frac{40700000 / 0,75}{2 \times 136373 \times 250 \times \cot(45)} = 0,65 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

Sehingga jarak sengkang total didapat sebesar

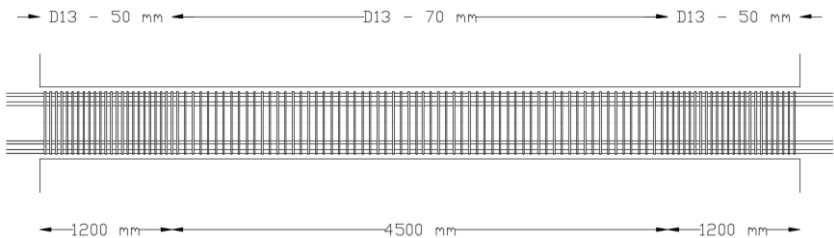
$$\frac{A_{sengkang}}{s} = \frac{A_t}{s} + \frac{A_v}{s}$$

$$\frac{A_{sengkang}}{s} = 0,65 + 2,81 = 3,46 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

Sehingga didapat jarak antar sengkang sebesar $73 \text{ mm} \approx \mathbf{70 \text{ mm}}$



Gambar 4. 39 Potongan melintang balok



Gambar 4. 40 Potongan memanjang balok

4.4.2 Perencanaan Kolom

Dari hasil perhitungan ETABS, didapat beban maksimum dari kolom K1 dengan dimensi 600×900 mm dan tinggi 3500 mm yang ditinjau sebesar.

$$P_u = 5400 \text{ KN}$$

$$V_{u_x} = 65 \text{ KN}$$

$$V_{u_y} = 134 \text{ KN}$$

$$T_u = 7.11 \text{ KN.m}$$

Dengan diameter tulangan yang dipakai

$$\text{Longitudinal bar} = D25$$

$$\text{Transversal bar} = D16$$

Kontrol Dimensi Kolom

$$P_u > A_g \times f_c / 10$$

$$5400000 > 540000 \times 30 / 10$$

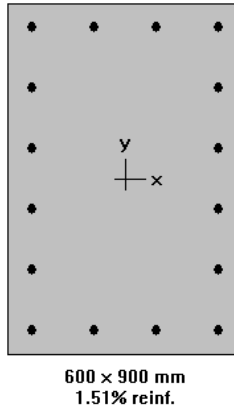
$$5400000 \text{ N} > 1620000 \text{ N}$$

Menurut SNI 2847:2013 apabila kolom mengalami gaya aksial lebih dari $A_g \times f_c / 10$ maka ketentuan berikut harus dipenuhi

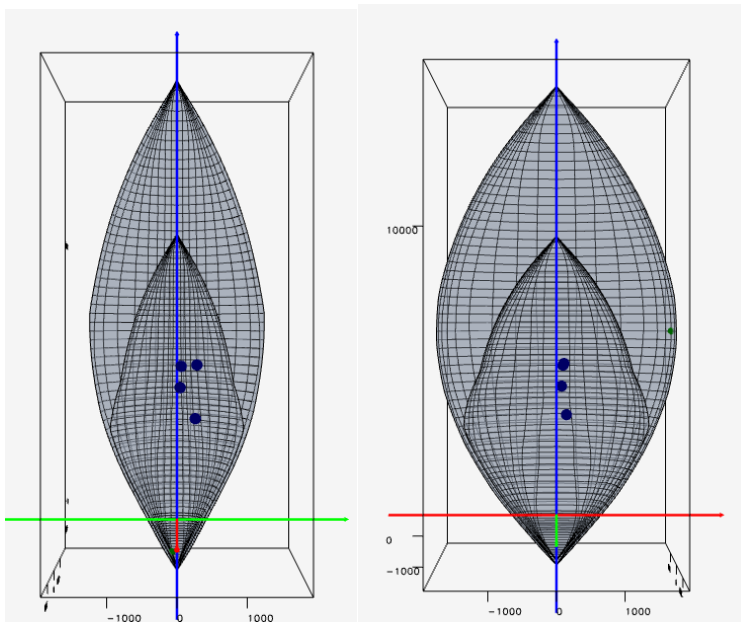
- Dimensi penampang terpendek lebih besar dari 300 mm
 $600 \text{ mm} > 300 \text{ mm}$ (OK!)
- Rasio lebar per panjang kolom lebih besar dari 0,4
 $600/900 = 0,66 > 0,4$ (OK!)

Perencanaan Tulangan Longitudinal

Menurut SNI 2847:2013 pasal 21.6 rasio tulangan dari kolom tidak boleh kurang dari 1% dan harus lebih dari 6%. Sehingga digunakan konfigurasi tulangan 16D25 dengan rasio tulangan sebesar 1,51%. Permodelan di-input ke program SpColumn dan menghasilkan diagram interaksi sebagai berikut.



Gambar 4. 41 Perencanaan dimensi dan tulangan kolom



Gambar 4. 42 Diagram interaksi arah X dan Y

Dari kombinasi yang dimasukkan, didapat bahwa kombinasi pembebanan tidak ada yang melebihi dari grafik interaksi yang diizinkan, maka dimensi dan konfigurasi kolom dapat digunakan.

Perencanaan Tulangan Transversal

Dari hasil analisa ETABS didapat gaya geser sebesar

$$V_{ux} = 65 \text{ KN}$$

$$V_{uy} = 134 \text{ KN}$$

Arah Y

$$V_c = \left(1 + \frac{5400000}{540000}\right) \times \frac{\sqrt{30}}{6} \times 600 \times 531 = 460,415 \text{ KN}$$

Karena nilai $V_{uy} < 0,5 V_c$ maka digunakan jarak tulangan sengkang maksimum dengan jarak sesuai SNI 2847:2013 pasal 11.4.5.1

- $d/2 = 600 / 2 = 300 \text{ mm}$
- 600 mm

Maka digunakan jarak sengkang 300 mm .

$$A_{v,min} = 0,062 \times \sqrt{30} \times \frac{900 \times 300}{250}$$

$$A_{v,min} = 366 \text{ mm}^2$$

Maka digunakan sengkang dengan konfigurasi 3D13 dengan $A_v = 398 \text{ mm}^2$

Arah X

$$V_c = \left(1 + \frac{N_u}{A_g} \right) \times \frac{\sqrt{f_c}}{6} \times b_w \times d$$

$$V_c = \left(1 + \frac{5400000}{540000} \right) \times \frac{\sqrt{30}}{6} \times 600 \times 832 = 471,377 \text{ KN}$$

Karena nilai $V_{ux} < 0,5 V_c$ maka digunakan jarak tulangan sengkang maksimum dengan jarak sesuai SNI 2847:2013 pasal 11.4.5.1

- $d/2 = 900 / 2 = 450 \text{ mm}$
- 600 mm

Maka digunakan jarak sengkang 300 mm sama dengan sengkang arah Y

Menurut SNI 2847:2013 pasal uas tulangan sengkang tidak boleh kurang dari:

$$A_{v,min} = 0,062 \times \sqrt{f_c} \times \frac{b_w \times s}{f_y}$$

$$A_{v,min} = 0,062 \times \sqrt{30} \times \frac{600 \times 300}{250}$$

$$A_{v,min} = 244 \text{ mm}^2$$

Maka digunavkan sengkang dengan konfigurasi 2D13 dengan $A_v = 265 \text{ mm}^2$

Tulangan Torsi

Menurut SNI 2847:2013 Pasal 11.5.2.2, pengaruh puntir untuk struktur non-prategang yang dibebani tarik atau

tekan aksial dapat diabaikan bila nilai momen puntir kurang dari:

$$A_{cp} = 426400 \text{ mm}^2$$

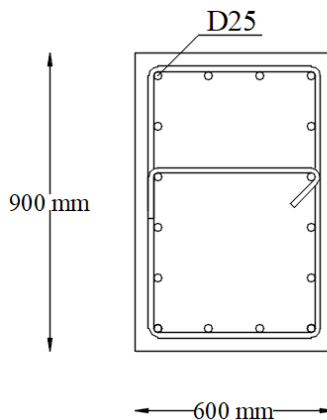
$$P_{cp} = 2080 \text{ mm}$$

$$\phi T_n = \phi \times 0,33 \times \sqrt{f'_c} \times \frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \times \sqrt{1 + \frac{N_u}{0,33 \times \sqrt{f'_c}}}$$

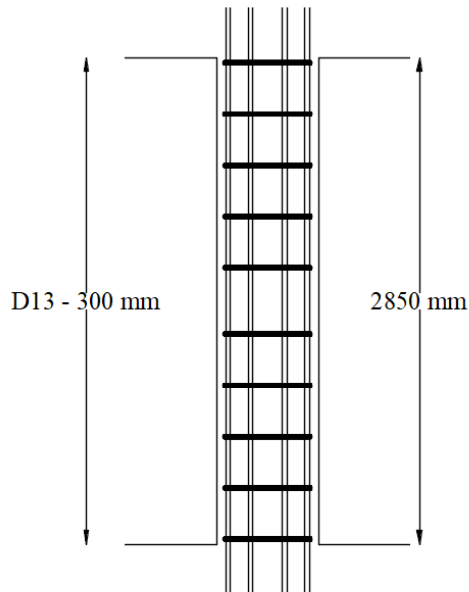
$$\begin{aligned} \phi T_n &= 0,65 \times 0,33 \times \sqrt{30} \times \frac{426400^2}{2080} \\ &\times \sqrt{1 + \frac{5400000}{0,33 \times \sqrt{30}}} \end{aligned}$$

$$\phi T_n = 80,5 \text{ KN.m} > T_u (5 \text{ KN.m})$$

Sehingga tidak memerlukan tulangan torsi



Gambar 4. 43 Potongan melintang kolom



Gambar 4. 44 Potongan memanjang kolom

4.5 Perencanaan Bangunan Bawah

Kombinasi pembebanan yang digunakan untuk menghitung bangunan bawah didapat dari perhitungan ETABS sebesar

Tabel 4. 28 Kombinasi pembebanan

Combo	Fx	Fy	Fz
	KN	KN	KN
D + L	0.0315	0.0613	1748.7
D + L + E	70.1626	49.0414	1836.1

Dengan spesifikasi

$$f'_c = 40 \text{ MPa}$$

$$f_r = 3,92 \text{ MPa}$$

$$E_{\text{beton}} = 29725 \text{ MPa}$$

4.5.1 Perhitungan kuat tiang pancang tunggal

Daya dukung pada pondasi tiang pancang ditentukan oleh dua hal, yaitu daya dukung perlawanan tanah dari unsur dasar tiang pondasi (Q_p) dan daya dukung tanah dari unsur lekatan lateral tanah (Q_r). Sehingga daya dukung total dari tanah dapat dirumuskan:

$$Q_u = Q_p + Q_s$$

Di samping peninjauan berdasarkan kekuatan tanah tempat pondasi tiang pancang di tanam, daya dukung suatu tiang juga harus ditinjau berdasarkan kekuatan bahan tiang pancang tersebut.

Hasil daya dukung yang menentukan yang dipakai sebagai daya dukung ijin tiang. Perhitungan daya dukung dapat ditinjau dari dua keadaan, yaitu daya dukung tiang pancang tunggal yang berdiri sendiri dan daya dukung tiang pancang dalam kelompok. Perhitungan daya dukung tiang pancang ini dilakukan berdasarkan hasil uji *SPT*

Di mana:

$$Q_u = \text{daya dukung satu tiang pancang maksimum}$$

$$Q_p = \text{daya dukung ultimate dari dasar tiang pancang}$$

$$Q_s = \text{daya dukung ultimate dari lekatan tanah}$$

Nilai Q_p dapat dihitung menggunakan persamaan

$$Q_p = A_{pile} \times 40 \times N_p$$

Di mana:

A_{pile} = luas permukaan *pile* pada dasar *pile*

N_p = nilai rata-rata dari N2 4D ke atas dan 4D ke bawah

Nilai Q_s dapat dihitung menggunakan persamaan

$$Q_s = \sum f_{si} \times h_i \times P_i$$

Di mana:

f_{si} = kuat lekatan tanah pada pias

h_i = tinggi pias

p_i = keliling tiang pancang pada pias

nilai f_{si} bisa didapat menggunakan persamaan

- jika tanah lempung

$$f_{si} = N_2 / 2 \left(\text{ton} / \text{m}^2 \right)$$

- jika tanah selain lempung

$$f_{si} = N_2 / 5 \left(\text{ton} / \text{m}^2 \right)$$

Di mana nilai N_2 sebesar

- jika tekanan tanah efektif (σ_0) lebih besar dari 7,5 tom/m²

$$N_2 = \frac{4 \times N_1}{3,25 + 0,1 \times P_0}$$

- jika tekanan tanah efektif (σ_0) kurang dari 7,5 tom/m²

$$N_2 = \frac{4 \times N_1}{1 + 0,4 \times P_0}$$

Dengan syarat nilai N_2 tidak boleh lebih besar dari $2N_1$

Di mana nilai N_1 sebesar

- untuk tanah pasir di bawah MAT dengan $N > 15$
 $N_1 = 0,6 \times N$
- untuk tanah selain yang disebutkan
 $N_1 = N$

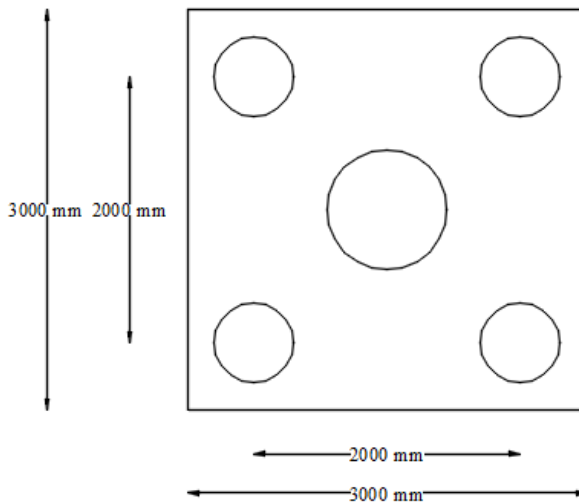
N adalah nilai ketukan dari hasil tes SPT.

Tabel 4. 29 Hasil perhitungan kuat individu tiang pancang

Depth m	N	N rata- rata	P ujung ton	fsi ton/m ²	Ps ton	Qult ton	Qijin ton
1	9	9.482634	107.2461	2.104033	3.966008	111.2121	37.07069
2	11	9.345122	105.6908	2.458787	8.600713	114.2916	38.09718
4	8	9.221013	104.2872	1.643976	14.79836	119.0856	39.69519
6	7	11.42237	129.184	1.37931	19.99824	149.1822	49.72742
8	10	14.48946	163.8719	1.759015	26.62957	190.5015	63.5005
10	11	15.2468	172.4372	1.720094	33.11417	205.5514	68.51713
12	35	17.9398	202.8944	4.926108	51.68516	254.5796	84.85986
14	50	19.68388	222.6194	6.397953	75.80487	298.4243	99.47477
16	50	21.64525	244.802	3.519062	89.07142	333.8734	111.2911
18	50	23.55909	266.447	5.414185	109.4824	375.9294	125.3098
20	38	22.99814	260.1029	3.821016	123.8873	383.9902	127.9967
22	48	21.22163	240.011	4.504927	140.8705	380.8815	126.9605
24	50	19.91481	225.2312	4.399472	157.4561	382.6873	127.5624
26	50	18.56174	209.9283	4.140787	173.0665	382.9948	127.6649
28	50	18.22696	206.1421	3.910833	187.81	393.9521	131.3174
30	38	16.38059	185.2601	1.689515	194.1793	379.4394	126.4798
32	50	15.42447	174.4467	3.519887	207.449	381.8957	127.2986
34	50	14.18491	160.4276	3.35233	220.087	380.5145	126.8382
36	50	13.29003	150.3068	1.92	227.3252	377.6319	125.8773
38	50	14.25853	161.2601	3.060912	238.8646	400.1247	133.3749
40	41	13.4233	151.8139	2.405397	247.9327	399.7466	133.2489

Dari hasil perhitungan di atas, didapat kuat ultimit tiang pancang individu dengan diameter 60 cm dan kedalaman 22 m sebesar **254 ton**. Sehingga beban yang diizinkan dengan *safety factor* 3 adalah **84,85 ton**.

4.5.2 Kontrol Tiang Pancang Beregu



Gambar 4. 45 Perencanaan Tiang Pancang dengan empat Tiang

Karena tiang pancang berdempetan, maka kekakuan dari lekatanpun berkurang, sehingga efektifitas dari setiap tiang pancang harus diperhitungkan kembali dengan persamaan coverse-laberra

$$\eta = 1 - \frac{ATAN\left(\frac{\phi}{s}\right)}{90} \times \left(2 - \frac{1}{m} - \frac{1}{n}\right)$$

$$\eta = 1 - \frac{ATAN\left(\frac{0.6}{1.8}\right)}{90} \times \left(2 - \frac{1}{2} - \frac{1}{2}\right) = 0,81$$

sehingga kuat individu tiang pancang dalam kelompok adalah

$$Q_{izin} = Q \times \eta$$

$$Q_{izin} = 84,85 \times 0,81$$

$$Q_{izin} = 67,73 \text{ ton}$$

Gaya tekan maksimum tiang pancang dihitung menggunakan persamaan

$$Q_{max} = \frac{Fz}{n} + \frac{F_y \times h \times y_{max}}{\sum y_i} + \frac{F_x \times h \times y_{max}}{\sum x_i}$$

Di mana:

h = jarak dari pondasi ke dasar *base isolator*.

n = Jumlah tiang pancang pada satu pilecap

Dalam perhitungan ini nilai h adalah 1 m. sehingga didapat nilai Q_{max} sebesar

$$Q_{max} = \frac{1748}{4} + \frac{49,04 \times 1 \times 1}{4} + \frac{70,16 \times 1 \times 1}{4}$$

$$Q_{max} = 512,6 \text{ KN}$$

Lokasi titik jepit dari tiang pancang dapat dihitung menggunakan persamaan

$$Z_f = \sqrt[5]{\frac{E_{beton} \times I_{pile}}{f}}$$

Bila tanah lembek, maka nilai f sebesar 0,0032 N/mm².

$$Z_f = \sqrt[5]{\frac{29725 \times 12723450247}{0.0032}}$$

$$Z_f = 2,26 \text{ m}$$

Untuk menghitung defleksi maksimum dari tiang pancang digunakan persamaan

$$\Delta = F_d \times \frac{PZ_f^3}{EI}$$

Di mana nilai F_d didapat sebesar 0,94. Dengan syarat defleksi tidak melebihi 2,5 cm.

$$\Delta = 0,94 \times \frac{21,4 \times 10^3 \times 2260^3}{200000 \times 52,23 \times 10^8} = 0,87 \text{ mm}$$

Untuk menghitung dmomen maksimum dari tiang pancang digunakan persamaan

$$\Delta = F_m \times P \times Z_f$$

Di mana nilai F_m didapat sebesar 0.89.

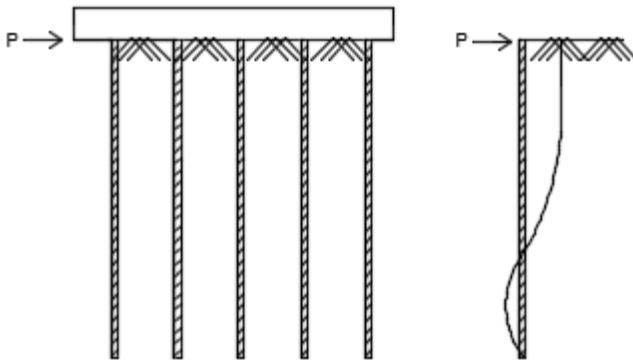
Spesifikasi dari tiang pancang sesuai dengan tiang pancang produksi WIKA Beton grade 80 sesuai pada gambar 4.27. maka digunakan diameter 600 mm class A dengan M_{cr} sebesar **203,6 KN.m** dan Q_{izin} **3560 KN**.

PRE-TENSIONED SPUN HIGH STRENGTH CONCRETE PILES SPECIFICATION

Grade 80 Piles

Outer Diameter (mm)	Concrete Wall Thickness (mm)	Class	PC. Bar			Concrete Sectional Area (cm ²)	Concrete Moment Inertia (cm ⁴)	Effective Prestress (kg/cm ²)	Allowable Axial Load (ton)	Bending Moment		Nominal Weight (kg/m)
			Diameter (mm)	Number	Sectional Area (cm ²)				ACI 543-1979	Cracking (Lm)	Ultimate (Lm)	
300	60	A	7.1	6	2.37	452	35416	49.59	102	2.88	3.16	118
350	70	A	7.1	8	3.17	616	65533	48.71	139	4.54	6.75	161
400	75	A	7.1	10	3.96	766	108803	48.97	173	6.61	9.73	200
		B	9	12	7.63	766	111001	87.45	165	8.88	13.51	200
450	80	A	9	8	5.09	930	170556	51.59	209	9.41	10.13	242
		B	9	16	10.17	930	174626	94.54	198	12.97	20.27	242
		C	9	20	12.72	930	176660	112.77	194	14.55	25.34	242
500	90	A	9	10	6.36	1159	261750	51.78	261	13.02	14.08	302
		B	9	18	11.45	1159	266994	86.95	250	17.04	25.34	302
		C	9	24	15.26	1159	270927	109.67	243	19.75	33.78	302
600	100	A	9	12	7.63	1571	522308	44.38	356	20.36	29.87	409
		B	9	24	15.26	1571	534365	82.21	340	27.57	48.61	409
		C	9	32	20.35	1571	542404	103.80	331	31.89	55.53	409

Gambar 4. 46 Spesifikasi tiang pancang WIKa beton



Gambar 4. 47 Defleksi tiang pancang

Tabel 4. 30 Kontrol tiang pancang

Combo	Qmax	Vmax	Δ	Mmax	Kontrol
	KN	KN	mm	KN.m	
D + L	437.2168	0.01723	0.000707	0.029017	OK!
D + L + E	512.6756	21.40071	0.877862	36.0407	OK!

4.5.3 Kontrol Kuat Geser *Pilecap*

Pilecap yang akan dihitung adalah tipe PC1 dengan spesifikasi

$$h = 700 \text{ mm}$$

$$d = 700 - 75 - 19/2 = 605 \text{ mm}$$

$$L_x = 3000 \text{ mm}$$

$$L_y = 3000 \text{ mm}$$

Pilecap adalah elemen dari gedung yang mengalami momen dan geser yang besar dari tiang pancang dan kolom. Oleh karena itu, *punch shear* dari kolom dan tiang pancang haruslah diperhitungkan. Kuat geser dapat diperhitungkan dengan persamaan:

$$V_c = \left(1 + \frac{2}{\beta}\right) \times \frac{\sqrt{f'_c}}{6} \times U \times d$$

$$V_c = 0,083 \frac{d \times \alpha}{U} \times \sqrt{f'_c} \times U \times d$$

$$V_c = 0,33 \times \sqrt{f'_c} \times U \times d$$

Di mana:

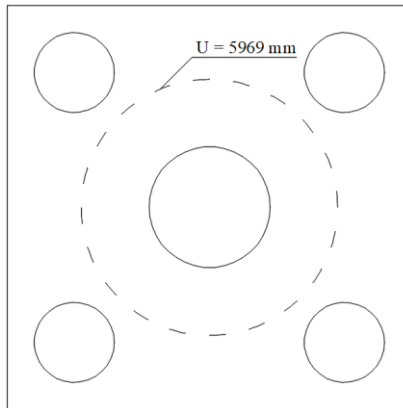
β = rasio bentang terpanjang *pilecap* terhadap beban terkecil

α = untuk kolom interior gunakan nilai 40

U = keliling geser

Nilai V_c diambil yang terkecil dari tiga nilai tersebut

Kontrol *Punch Shear* kolom



Gambar 4. 48 Lokasi *punch shear* kolom

$$\begin{aligned} P_u &= P_{\text{kolom}} \\ &= 2370 \text{ KN} \end{aligned}$$

Dari gambar autocad didapat keliling geser sebesar 5200 mm. sehingga didapat kuat geser sebesar.

$$V_c = \left(1 + \frac{2}{1}\right) \times \frac{\sqrt{40}}{6} \times 5969 \times 605 = 9964 \text{ KN}$$

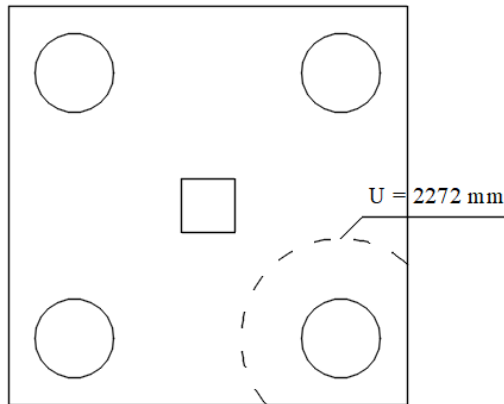
$$V_c = 0,083 \frac{900 \times 40}{7000} \times \sqrt{40} \times 5969 \times 605 = 7709 \text{ KN}$$

$$V_c = 0,33 \times \sqrt{40} \times 5969 \times 605 = 6642 \text{ KN}$$

Sehingga didapat nilai V_c terkecil adalah **6642 KN**.

$V_c > P_u$ (2370 KN) OK!

Kontrol *puch shear* tiang pancang



Gambar 4. 49 keliling geser tiang pancang

$$\begin{aligned} P_u &= P_{\text{pancang}} \\ &= 592 \text{ KN} \end{aligned}$$

$$V_c = \left(1 + \frac{2}{1}\right) \times \frac{\sqrt{40}}{6} \times 2272 \times 605 = 4353 \text{ KN}$$

$$V_c = 0,083 \frac{900 \times 40}{7000} \times \sqrt{40} \times 2272 \times 900 = 7709 \text{ KN}$$

$$V_c = 0,33 \times \sqrt{40} \times 2272 \times 900 = 2902 \text{ KN}$$

Sehingga didapat nilai V_c terkecil adalah **2902 KN**.

$V_c > P_u$ (592 KN) OK!

Kontrol *oneway shear*

$$V_u = 2 \times P_{\text{pancang}}$$

$$V_u = 2 \times 592$$

$$V_u = 1184 \text{ KN}$$

$$V_c = \left(1 + \frac{2}{1}\right) \times \frac{\sqrt{40}}{6} \times 3000 \times 605 = 5748 \text{ KN}$$

$$V_c = 0,083 \frac{900 \times 40}{7000} \times \sqrt{40} \times 3000 \times 900 \\ = 13363 \text{ KN}$$

$$V_c = 0,33 \times \sqrt{40} \times 3000 \times 900 = 3832 \text{ KN}$$

Sehingga didapat nilai V_c terkecil adalah **3832 KN**.

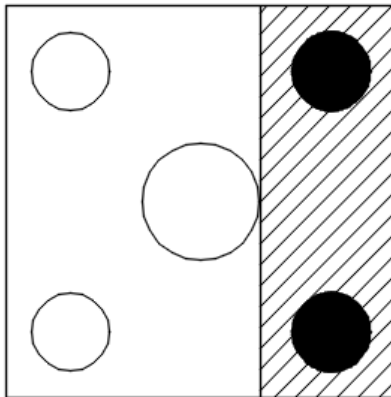
$V_c > P_u$ (1184 KN) OK!

4.5.4 Penulangan *Pilecap*

Beban terbagi merata yang bekerja di atas *pilecap* terdiri dari berat strfuktur *pilecap* sendiri.

$$q = 4.5 \times 0,7 \times 24 = 75,6 \text{ KN/m}$$

Arah X



Gambar 4. 50 Lokasi kritis momen arah X

$$M_u = n \times P_{pile} \times x - \frac{1}{2} \times q \times x^2$$

$$M_u = 2 \times 592 \times 0,8 - \frac{1}{2} \times 75,6 \times 0,8^2 = 905,7 \text{ KN.m}$$

$$A_s = \frac{M_u}{f_y \times j \times d}$$

$$A_s = \frac{905,7 \times 10^6}{250 \times 0,8 \times 605} = 7474 \text{ mm}^2$$

$$S = \frac{b}{A_s/A_{D19}}$$

$$S = \frac{3000}{7474/283} \approx 170 \text{ mm}$$

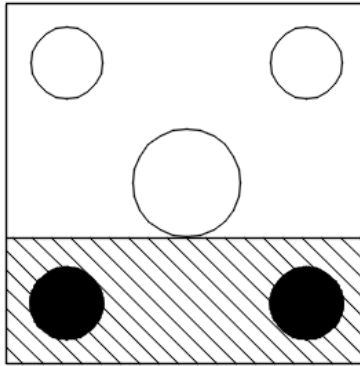
Tulangan tekan yang dibutuhkan:

$$A_s' = A_s \times 0,5$$

$$A_s' = 7474 \times 0,5 = 3737 \text{ mm}^2$$

$$S = \frac{3000}{3737/283} \approx 340 \text{ mm}$$

Arah Y



Gambar 4. 51 Lokasi kritis momen arah Y

$$M_u = n \times P_{pile} \times x - \frac{1}{2} \times q \times x^2$$

$$M_u = 2 \times 592 \times 0,8 - \frac{1}{2} \times 75,6 \times 0,8^2 = 905,7 \text{ KN.m}$$

$$A_s = \frac{M_u}{f_y \times j \times d}$$

$$A_s = \frac{905,7 \times 10^6}{250 \times 0,8 \times 605} = 7474 \text{ mm}^2$$

$$S = \frac{b}{A_s/A_{D19}}$$

$$S = \frac{3000}{7474/283} \approx 170 \text{ mm}$$

Tulangan tekan yang dibutuhkan:

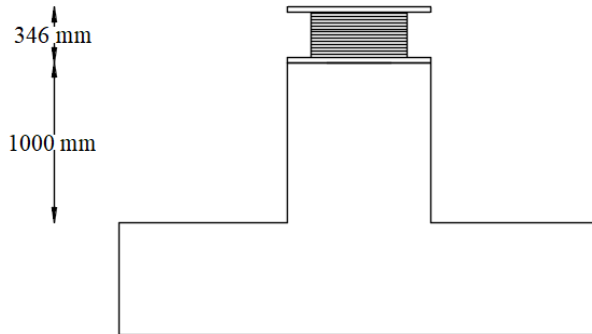
$$A_s' = A_s \times 0,5$$

$$A_s' = 7474 \times 0,5 = 3737 \text{ mm}^2$$

$$S = \frac{3000}{3737/283} \approx 340 \text{ mm}$$

4.5.5 Perencanaan Kolom Pedestal

Kolom pedestal dibutuhkan untuk menyalurkan beban dari base isolator ke pondasi. Dengan dimensi menyesuaikan dengan dimensi dari sayap *base isolator*. Maka digunakan kolom berdiameter 900 mm dengan menggunakan tulangan 8D29.



Gambar 4. 52 Potongan melintang pondasi

Karena tinggi dari pedestal adalah 1 m, maka nilai momen yang terjadi pada kolom pedestal adalah sebesar:

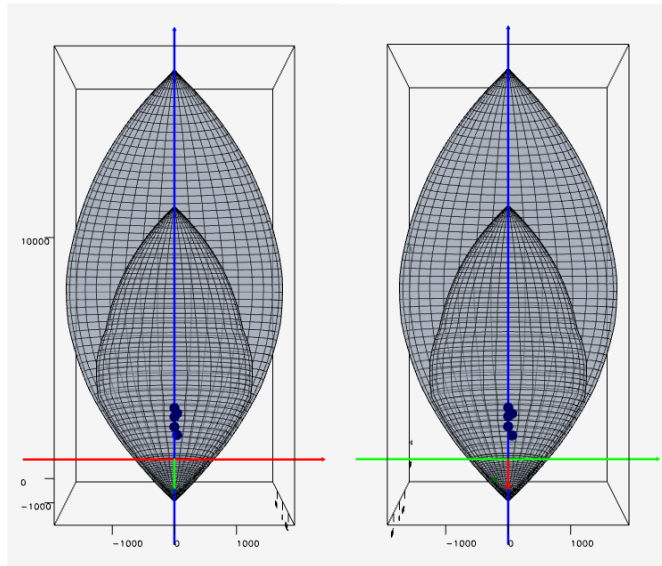
$$M = F_{x/y} \times H_{pedestal}$$

Maka didapat kombinasi pembabanan untuk pedestal sebesar

Tabel 4. 31 Kombinasi pembebanan pedestal

Combo	Mx	My	Fz
	KN.m	KN.m	KN
1.4D	0.0245	0.0517	1495.19
1.2D + 1.6L + 0.5Lr	0.0379	0.0704	2370.723
1.2D + 1.6Lr + L	0.0315	0.0613	1962.862
1.2D + E + L	70.1626	49.0414	2104.529
0.9D + E	70.1468	49.0141	1103.56

Dari analisa menggunakan aplikasi SpColumn maka didapat diagram interaksi sebagai berikut:



Tabel 4. 32 Diagram interaksi kolom pedestal

Perhitungan sengkang

Kuat geser yang disediakan oleh pedestal dapat dihitung menggunakan persamaan

$$V_c = \left(1 + \frac{N_u}{A_g} \right) \times \frac{\sqrt{f_c}}{6} \times b_w \times d$$

Dengan nilai d diambil sebesar 0,8 kali dari diameter pedestal. Sehingga didapat kekuatan pedestal sebesar

$$V_c = \left(1 + \frac{2370723}{1227184} \right) \times \frac{\sqrt{30}}{6} \times (0,8 \times 1250)^2$$

$$V_c = 2676,391 \text{ KN}$$

Karna nilai V_u (70,4 KN) kurang dari $0,5 \times V_c$ (1338,1 KN) maka tidak diperlukan sengkang. Sehingga digunakan tulangan sengkang minimum dengan tulangan D13 – 150 mm

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan perencanaan struktur yang dilakukan dalam penyusunan Tugas Akhir “Perencanaan Modifikasi Struktur Gedung Apartemen Grand Dhika City Tower Emerald Menggunakan *Base Isolator* dan *Nonlinear Time History Analysis*” maka dapat disimpulkan

1. Penggunaan HDRB pada bagian tengah dan LRB pada bagian pinggir bertujuan untuk mengurangi pengaruh eksentrisitas massa pada struktur yang mengakibatkan defleksi berupa torsi.
2. Struktur yang menggunakan *base isolator* terbukti tidak memerlukan shearwall atau penahan beban lateral lainnya karena beban gempa sudah teredam.
3. Dari hasil *nonlinear analysis* menunjukkan gedung yg menggunakan *base isolator* cenderung tetap bersifat elastis meski sudah menerima beban gempa.
4. Dari analisa didapat beban gempa yang diredam oleh *base isolator* sebesar 11% dan menghasilkan *interstory drift* yang lebih kecil.

5.2 Saran

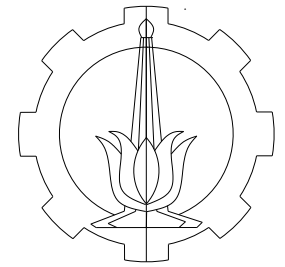
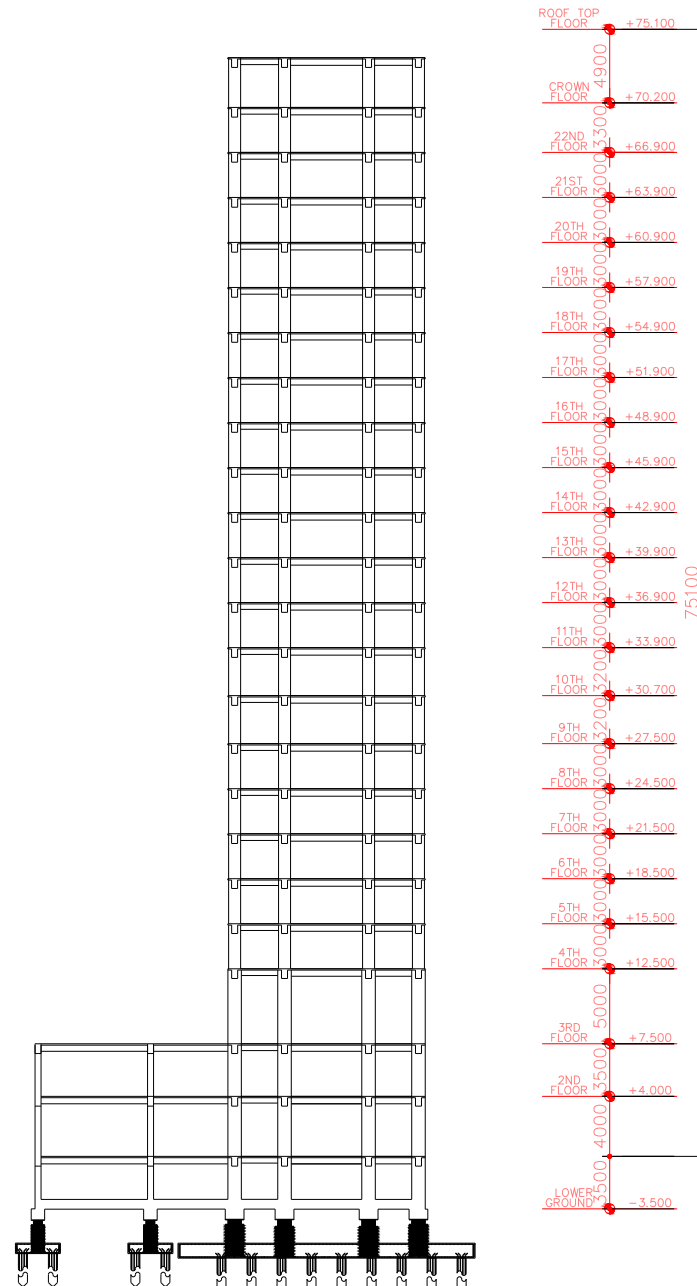
1. Diperlukan studi lebih lanjut untuk menentukan kombinasi penggunaan antara *high damping rubber bearing* (HDRB) dan *lead rubber bearing* (LRB) pada gedung.
2. Diperlukan studi lebih lanjut untuk menghitung periode maksimum gedung dengan isolasi dasar berdasarkan SNI 1726:2012
3. Diperlukan studi lebih lanjut mengenai perilaku gedung tinggi dengan Sistem Isolation Structure dengan memperhatikan aspek teknis, ekonomis dan estetika. Sehingga diharapkan perencanaan dapat dimodelkan

semirip mungkin dengan kondisi sesungguhnya di lapangan dan mudah dalam pelaksanaan.

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Standardisasi Nasional. 2012. **SNI 1726:2012 Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Bangunan Gedung**. Jakarta : Badan Standardisasi Nasional
- Badan Standardisasi Nasional. 2012. **SNI 2847:13 Tata Cara Perencanaan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung**. Jakarta : Badan Standardisasi Nasional
- Badan Standardisasi Nasional. 2012. **SNI 03-1727-2012 Tata Cara Perhitungan Pembebanan Untuk Bangunan Gedung**. Jakarta : Badan Standardisasi Nasional
- Chopra, Anil K. 2012. *Dynamics of Structures*. California, USA
- Departemen Pekerjaan Umum, 1983. **Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung (PPIUG)**. Jakarta, Indonesia
- Departemen Pekerjaan Umum. 1971. **Peraturan Beton Bertulang Indonesia (PBI)**. Jakarta, Indonesia.
- Markou, Anthanasious A. 2016. “*Mechanical Model for shear behavior in high damping rubber bearing*”. Aristotle University
- Mkrtychev, O.V. 2014. “*Study of Lead Rubber Bearings Operation with Varying Height Buildings at Earthquake*”. State University of Moscow
- Nawy, E. G., Tavo, dan Kusuma, B. 2010. “*Beton Bertulang Sebuah Pendekatan Mendasar Jilid 1*”. Surabaya : ITSPress. 974 hal.

- Nawy, E. G., Tavio, dan Kusuma, B. 2010. *“Beton Bertulang Sebuah Pendekatan Mendasar Jilid 2”*. Surabaya : ITSPress. 974 hal.
- Tavio, and Kusuma, B. (2009). *Desain Sistem Rangka Pemikul Momen dan Dinding Struktur Beton Bertulang Tahan Gempa*. Surabaya: ITS Press. 141 hal.



Jurusan Teknik Sipil
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Tugas Akhir

Perencanaan Modifikasi Struktur Gedung
Apartemen Grand Dhika City Tower
Emerald Menggunakan Base Isolator
dengan Nonlinear Time History Analysis

Dosen Pembimbing

Dr. Ir. Hidayat Soegihardjo M, MS.
Prof. Tavio, ST., MT., Ph.D

Nama Mahasiswa

Fahmi Abdulaziz
(3113100021)

Nama Gambar

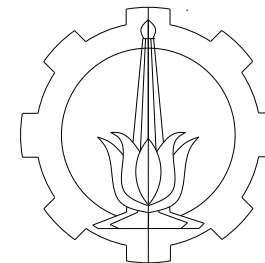
Potongan Melintang

Nomor Gambar

Jumlah Gambar

1

41



Jurusan Teknik Sipil
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Tugas Akhir

Perencanaan Modifikasi Struktur Gedung
Apartemen Grand Dhika City Tower
Emerald Menggunakan Base Isolator
dengan Nonlinear Time History Analysis

Dosen Pembimbing

Dr. Ir. Hidayat Soegihardjo M, MS.
Prof. Tavio, ST., MT., Ph.D

Nama Mahasiswa

Fahmi Abdulaziz
(3113100021)

Nama Gambar

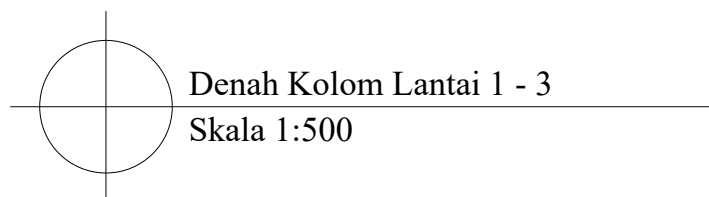
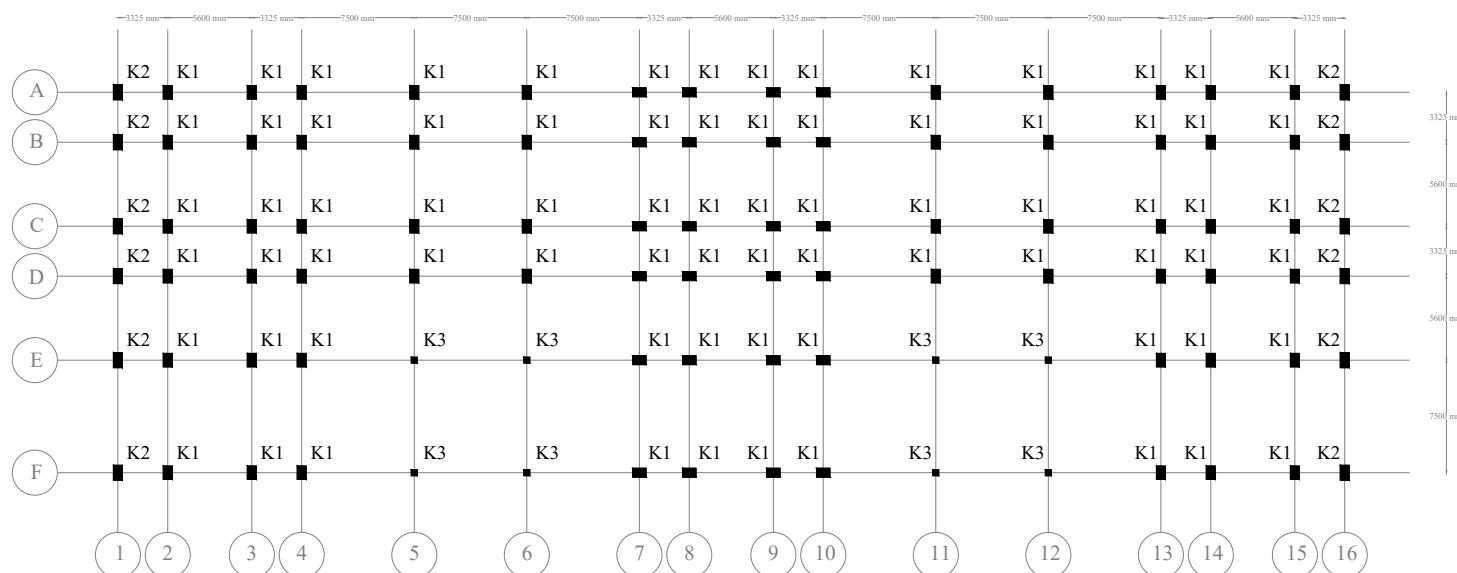
Denah Kolom Lantai 1 - 3

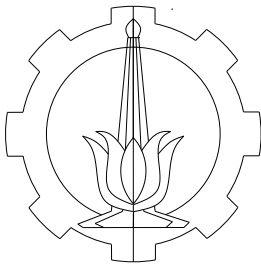
Nomor Gambar

Jumlah Gambar

2

41





Jurusan Teknik Sipil
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Tugas Akhir

Perencanaan Modifikasi Struktur Gedung
Apartemen Grand Dhika City Tower
Emerald Menggunakan Base Isolator
dengan Nonlinear Time History Analysis

Dosen Pembimbing

Dr. Ir. Hidayat Soegihardjo M, MS.
Prof. Tavio, ST., MT., Ph.D

Nama Mahasiswa

Fahmi Abdulaziz
(3113100021)

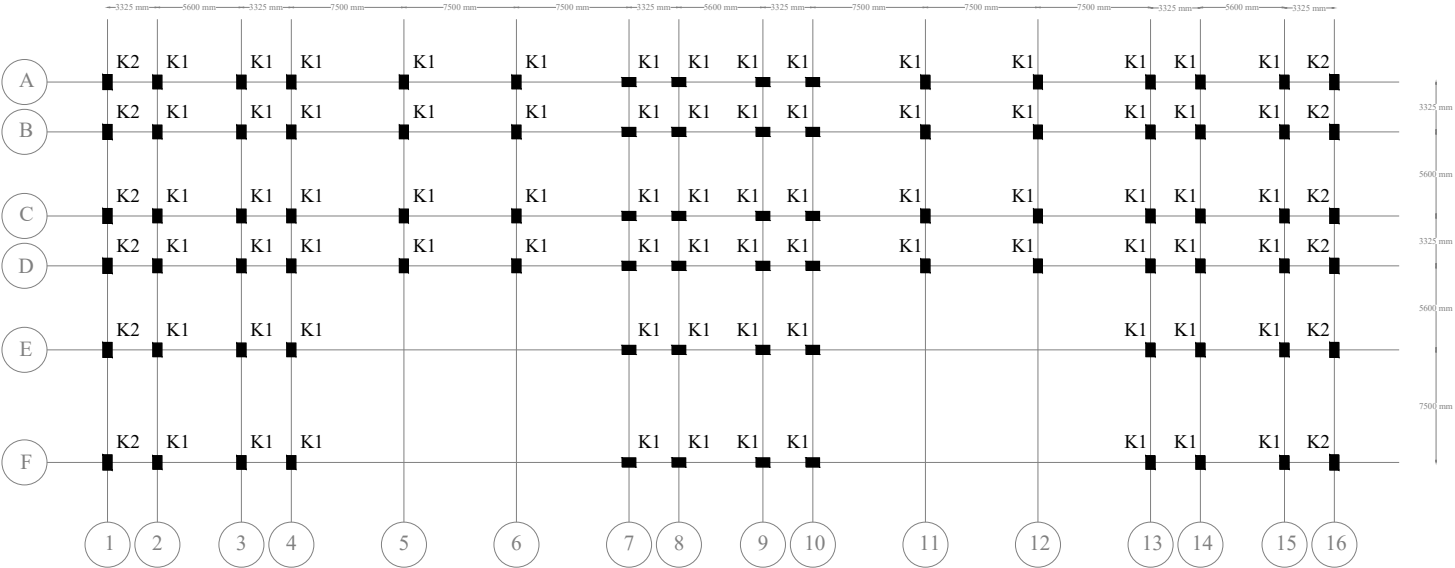
Nama Gambar

Nomor Gambar

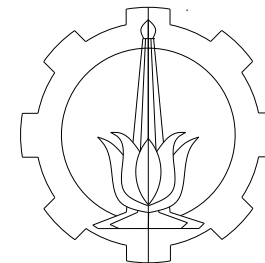
Jumlah Gambar

3

41



Denah Kolom Lantai 4
Skala 1:500



Jurusan Teknik Sipil
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Tugas Akhir

Perencanaan Modifikasi Struktur Gedung
Apartemen Grand Dhika City Tower
Emerald Menggunakan Base Isolator
dengan Nonlinear Time History Analysis

Dosen Pembimbing

Dr. Ir. Hidayat Soegihardjo M, MS.
Prof. Tavio, ST., MT., Ph.D

Nama Mahasiswa

Fahmi Abdulaziz
(3113100021)

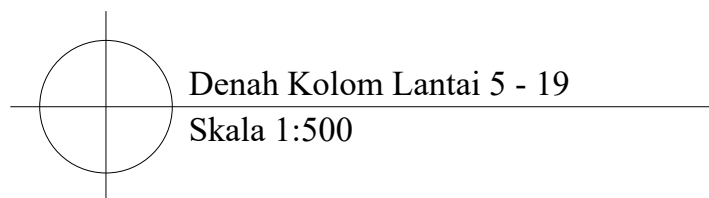
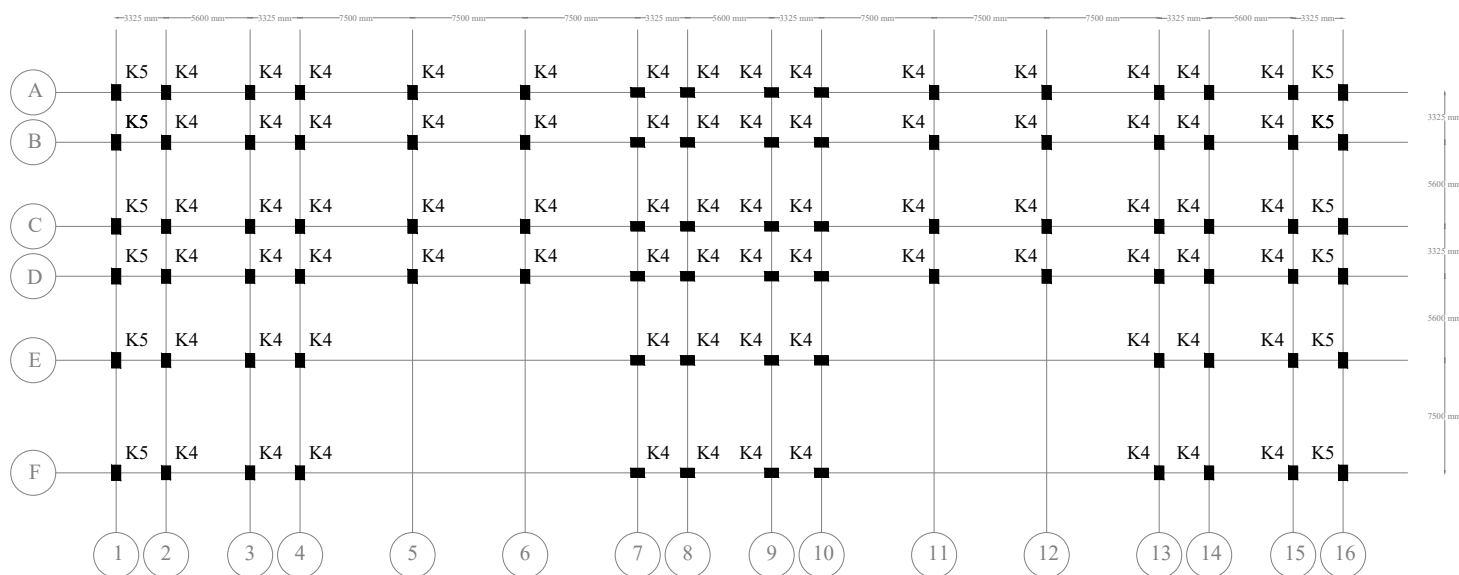
Nama Gambar

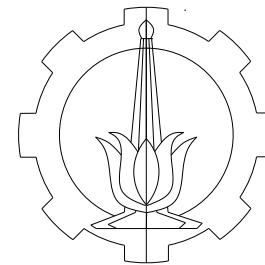
Nomor Gambar

Jumlah Gambar

4

41





Jurusan Teknik Sipil
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Tugas Akhir

Perencanaan Modifikasi Struktur Gedung
Apartemen Grand Dhika City Tower
Emerald Menggunakan Base Isolator
dengan Nonlinear Time History Analysis

Dosen Pembimbing

Dr. Ir. Hidayat Soegihardjo M, MS.
Prof. Tavio, ST., MT., Ph.D

Nama Mahasiswa

Fahmi Abdulaziz
(3113100021)

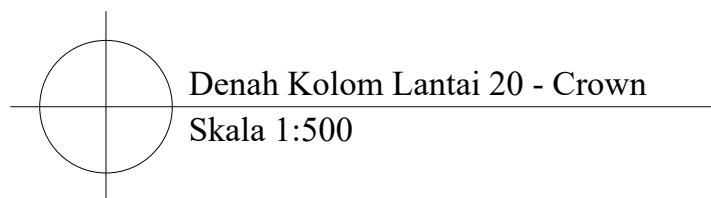
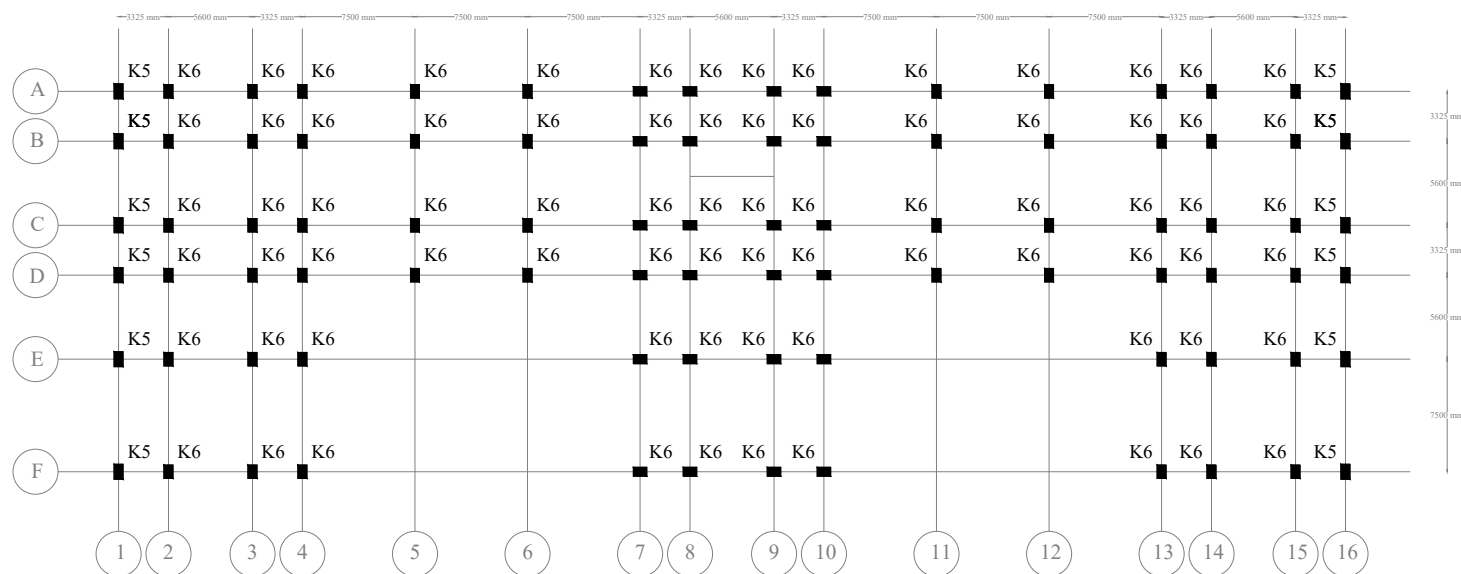
Nama Gambar

Nomor Gambar

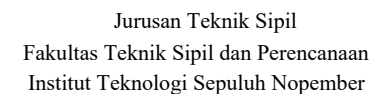
Jumlah Gambar

5

41



Denah Kolom Lantai 20 - Crown
Skala 1:500



Perencanaan Modifikasi Struktur Gedung Apartemen Grand Dhika City Tower Emerald Menggunakan Base Isolator dengan Nonlinear Time History Analysis

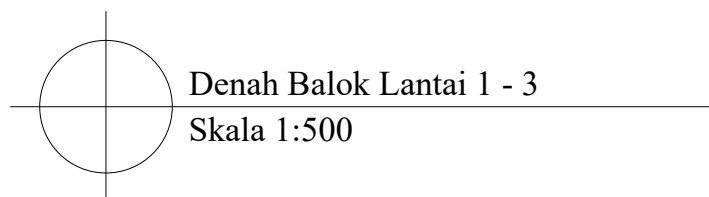
Dr. Ir. Hidayat Soegihardjo M, MS.
Prof. Tavio, ST., MT., Ph.D

Fahmi Abdulaziz
(3113100021)

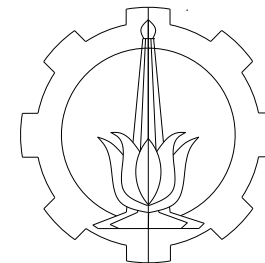
Denah Balok Lantai 1 - 3

Jumlah Gambar

41



Skala 1:500



Jurusan Teknik Sipil
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Tugas Akhir

Perencanaan Modifikasi Struktur Gedung
Apartemen Grand Dhika City Tower
Emerald Menggunakan Base Isolator
dengan Nonlinear Time History Analysis

Dosen Pembimbing

Dr. Ir. Hidayat Soegihardjo M, MS.
Prof. Tavio, ST., MT., Ph.D

Nama Mahasiswa

Fahmi Abdulaziz
(3113100021)

Nama Gambar

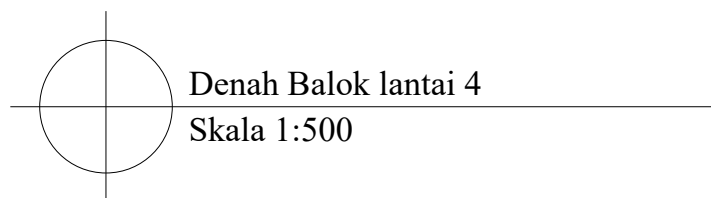
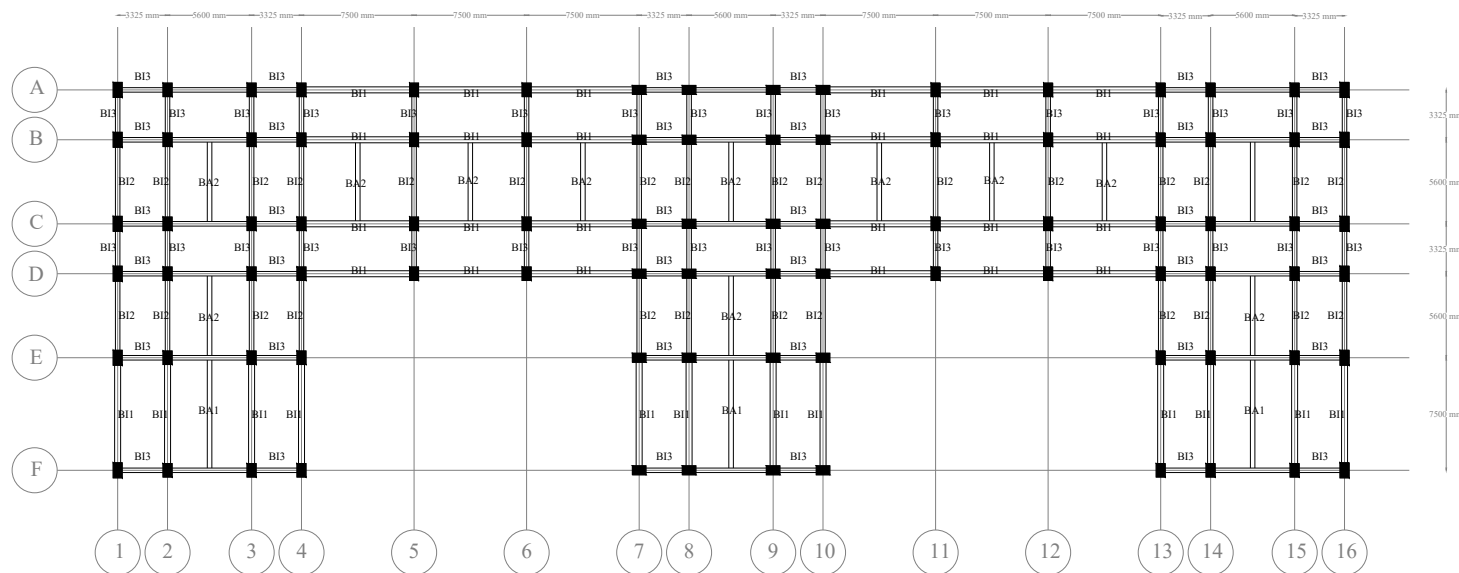
Denah Balok Lantai 4

Nomor Gambar

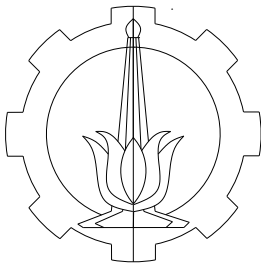
7

Jumlah Gambar

41



Denah Balok lantai 4
Skala 1:500



Jurusan Teknik Sipil
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Tugas Akhir

Perencanaan Modifikasi Struktur Gedung
Apartemen Grand Dhika City Tower
Emerald Menggunakan Base Isolator
dengan Nonlinear Time History Analysis

Dosen Pembimbing

Dr. Ir. Hidayat Soegihardjo M, MS.
Prof. Tavio, ST., MT., Ph.D

Nama Mahasiswa

Fahmi Abdulaziz
(3113100021)

Nama Gambar

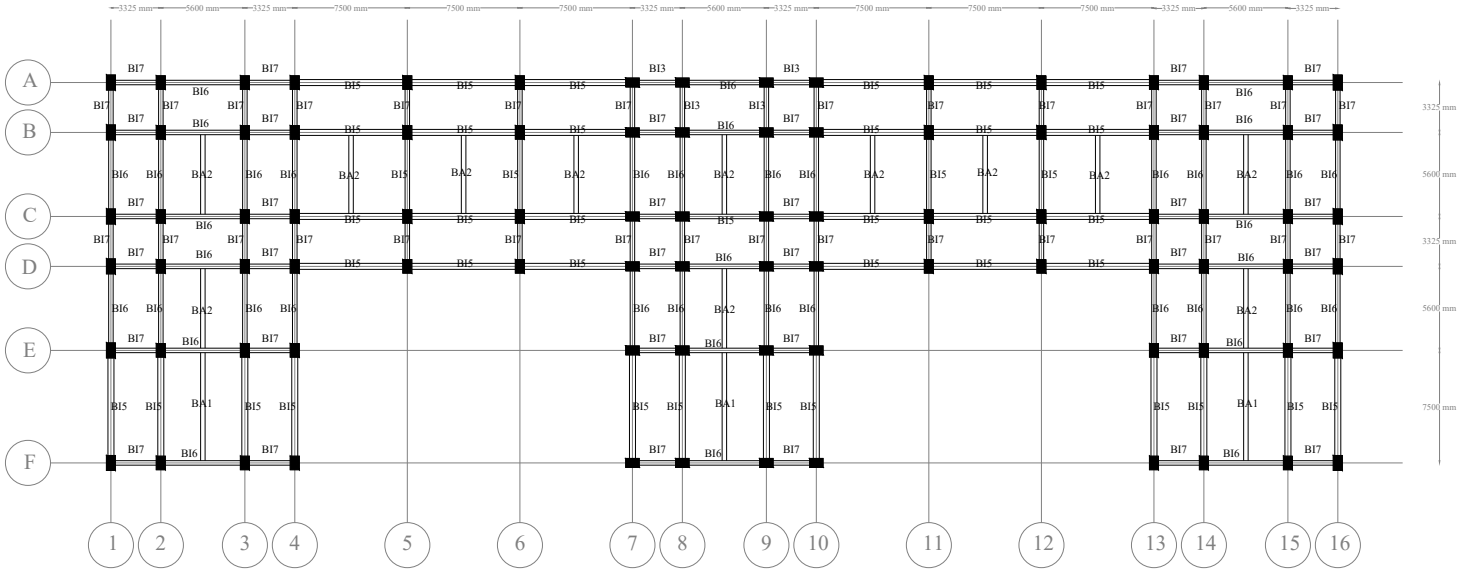
Denah Balok Lantai 5 - 19

Nomor Gambar

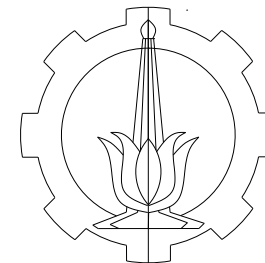
Jumlah Gambar

8

41



Denah Balok lantai 5 - 19
Skala 1:500



Jurusan Teknik Sipil
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Tugas Akhir

Perencanaan Modifikasi Struktur Gedung
Apartemen Grand Dhika City Tower
Emerald Menggunakan Base Isolator
dengan Nonlinear Time History Analysis

Dosen Pembimbing

Dr. Ir. Hidayat Soegihardjo M, MS.
Prof. Tavio, ST., MT., Ph.D

Nama Mahasiswa

Fahmi Abdulaziz
(3113100021)

Nama Gambar

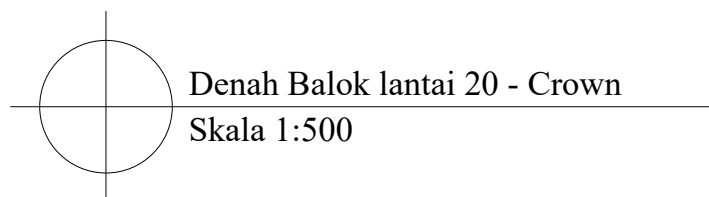
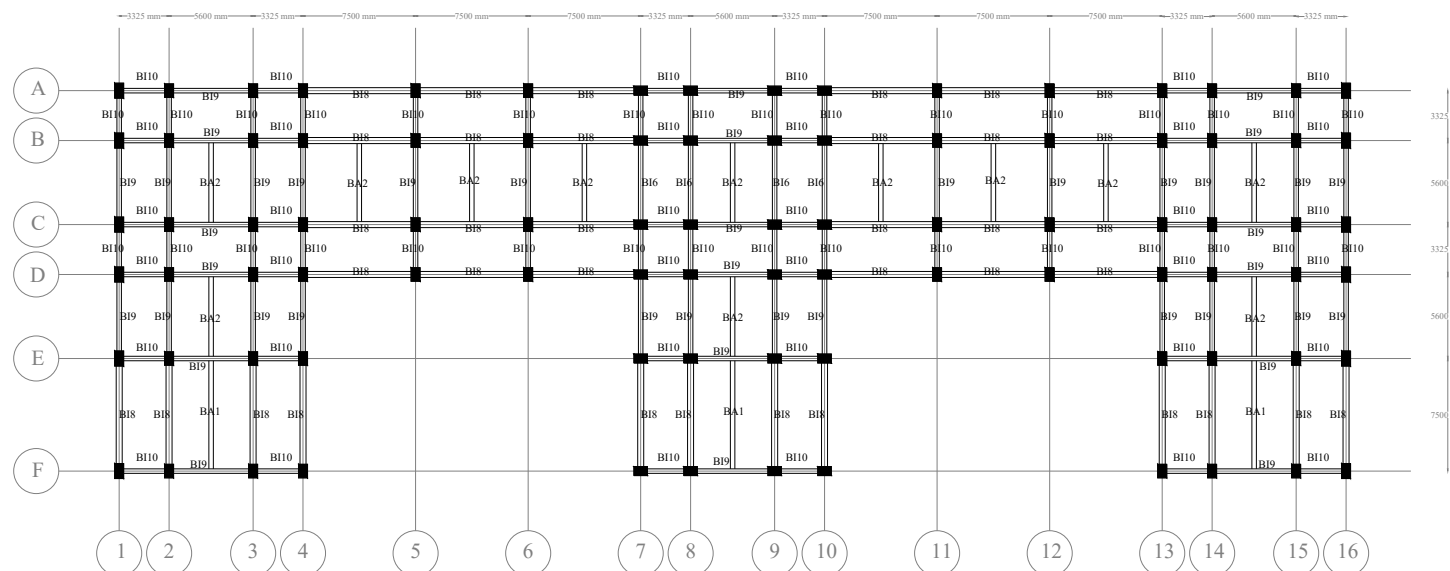
Denah Balok Lantai 20 - Crown

Nomor Gambar

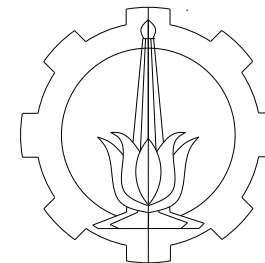
Jumlah Gambar

9

41



Denah Balok lantai 20 - Crown
Skala 1:500



Jurusan Teknik Sipil
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Tugas Akhir

Perencanaan Modifikasi Struktur Gedung
Apartemen Grand Dhika City Tower
Emerald Menggunakan Base Isolator
dengan Nonlinear Time History Analysis

Dosen Pembimbing

Dr. Ir. Hidayat Soegihardjo M, MS.
Prof. Tavio, ST., MT., Ph.D

Nama Mahasiswa

Fahmi Abdulaziz
(3113100021)

Nama Gambar

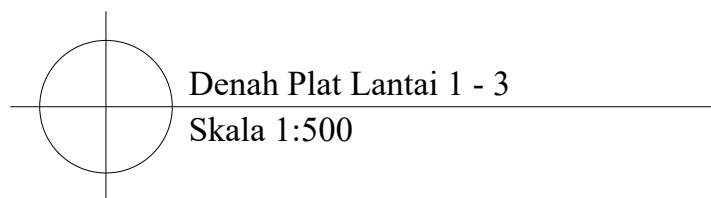
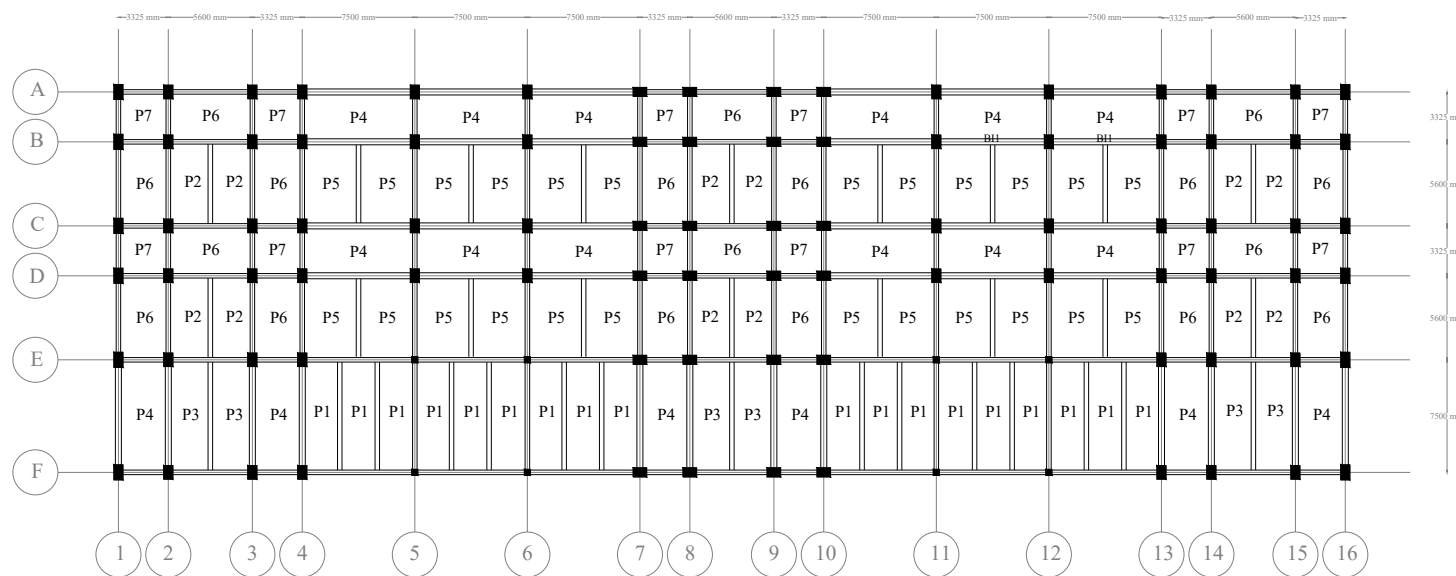
Denah Plat Lantai 1 - 3

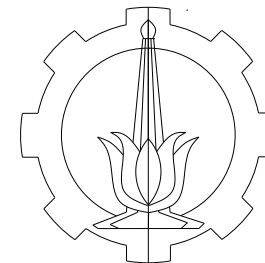
Nomor Gambar

Jumlah Gambar

10

41





Jurusan Teknik Sipil
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Tugas Akhir

Perencanaan Modifikasi Struktur Gedung
Apartemen Grand Dhika City Tower
Emerald Menggunakan Base Isolator
dengan Nonlinear Time History Analysis

Dosen Pembimbing

Dr. Ir. Hidayat Soegihardjo M, MS.
Prof. Tavio, ST., MT., Ph.D

Nama Mahasiswa

Fahmi Abdulaziz
(3113100021)

Nama Gambar

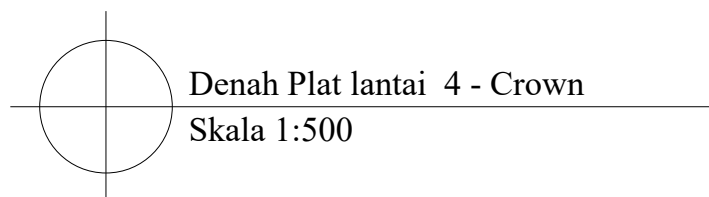
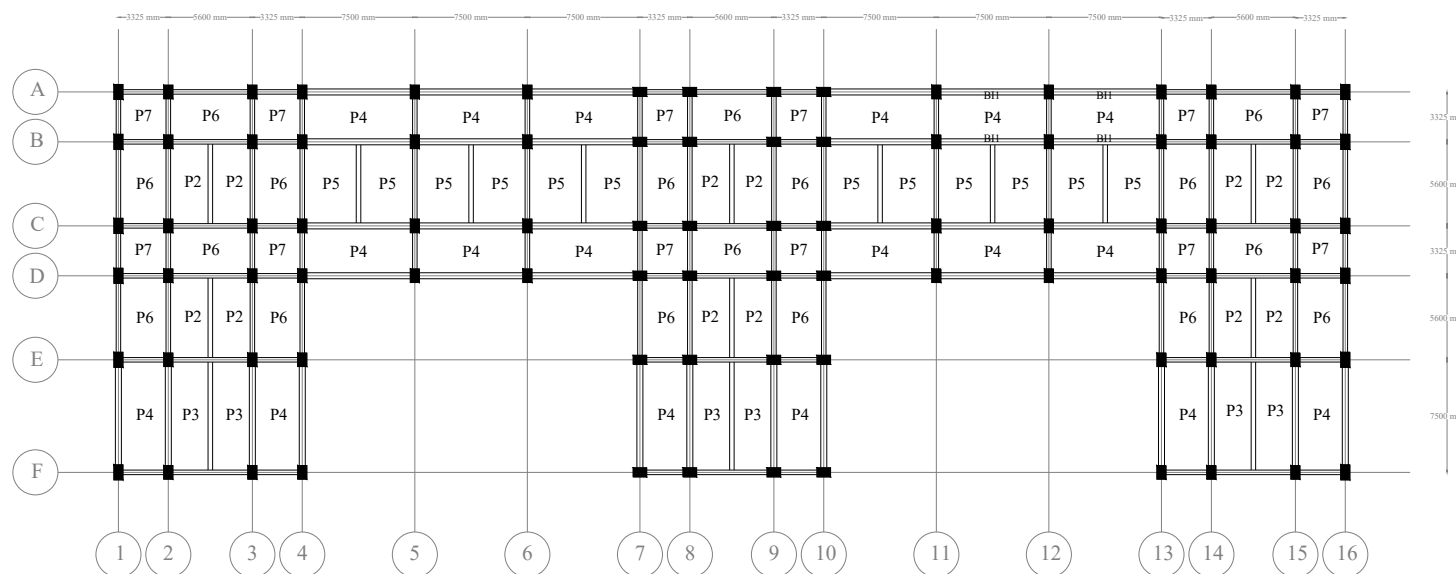
Denah Balok Lantai 1 - 3

Nomor Gambar

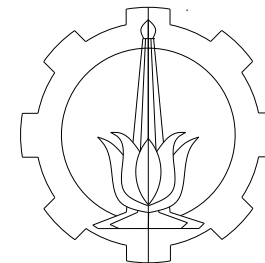
Jumlah Gambar

11

41



Denah Plat lantai 4 - Crown
Skala 1:500



Jurusan Teknik Sipil
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Tugas Akhir

Perencanaan Modifikasi Struktur Gedung
Apartemen Grand Dhika City Tower
Emerald Menggunakan Base Isolator
dengan Nonlinear Time History Analysis

Dosen Pembimbing

Dr. Ir. Hidayat Soegihardjo M, MS.
Prof. Tavio, ST., MT., Ph.D

Nama Mahasiswa

Fahmi Abdulaziz
(3113100021)

Nama Gambar

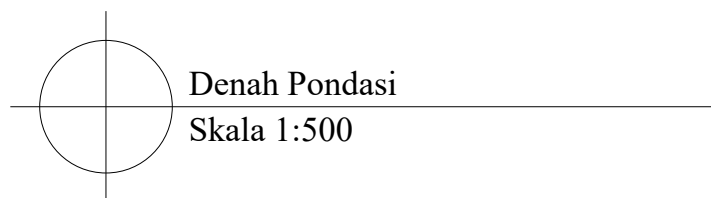
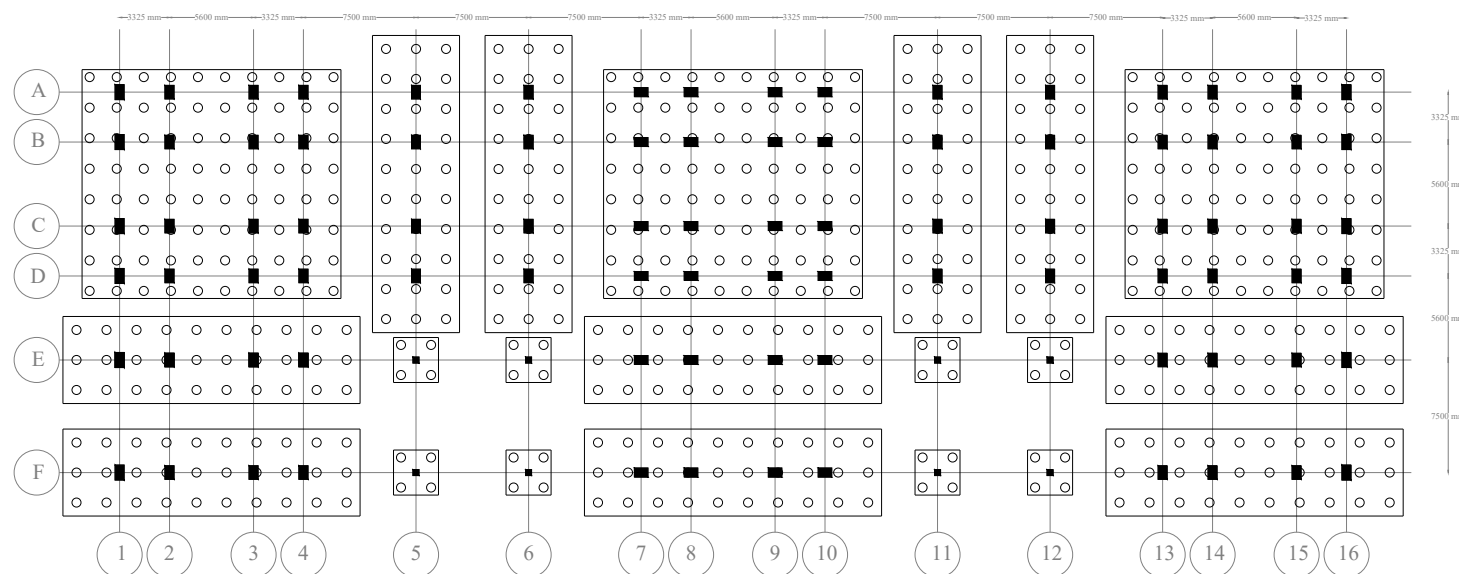
Denah Pondasi

Nomor Gambar

Jumlah Gambar

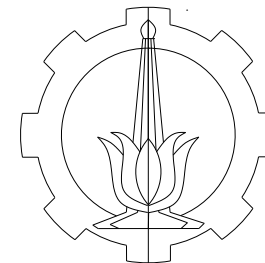
12

41



Denah Pondasi

Skala 1:500



Jurusan Teknik Sipil
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Tugas Akhir

Perencanaan Modifikasi Struktur Gedung
Apartemen Grand Dhika City Tower
Emerald Menggunakan Base Isolator
dengan Nonlinear Time History Analysis

Dosen Pembimbing

Dr. Ir. Hidayat Soegihardjo M, MS.
Prof. Tavio, ST., MT., Ph.D

Nama Mahasiswa

Fahmi Abdulaziz
(3113100021)

Nama Gambar

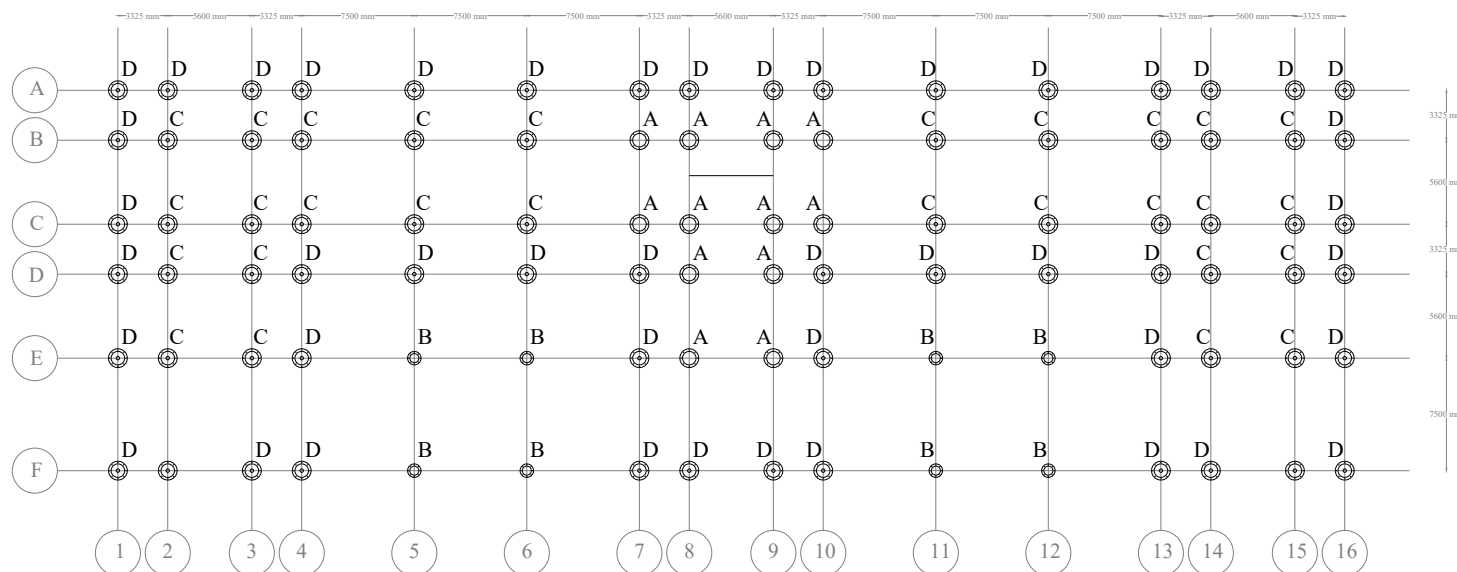
Denah Base Isolator

Nomor Gambar

Jumlah Gambar

13

41



A = HDRB HT090X6R

B = HDRB HL060X6R

C = LRB LT090G4K

D = LRB LL090G4K

Keterangan

Diameter Tulangan Longitudinal

D32

Diameter Tulangan Transversal

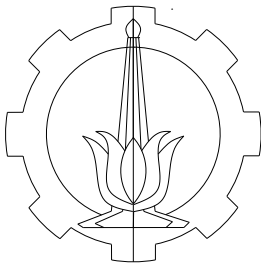
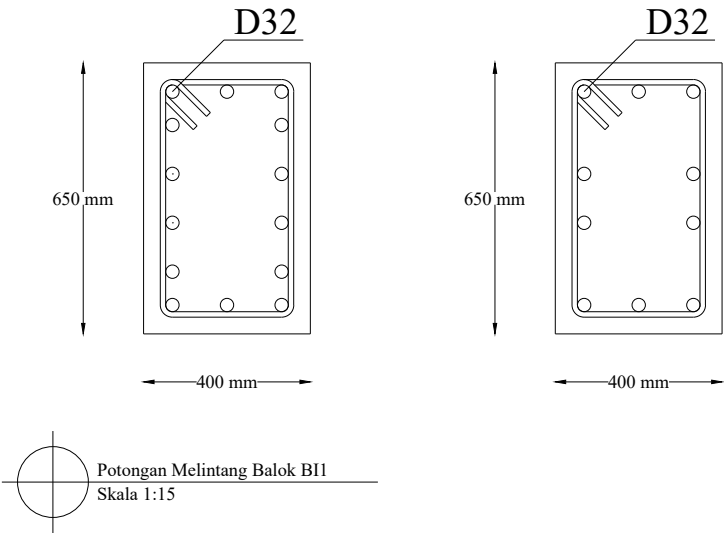
D13

Cover

40 mm

Tumpuan

Lapangan



Jurusan Teknik Sipil
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Tugas Akhir

Perencanaan Modifikasi Struktur Gedung
Apartemen Grand Dhika City Tower
Emerald Menggunakan Base Isolator
dengan Nonlinear Time History Analysis

Dosen Pembimbing

Dr. Ir. Hidayat Soegihardjo M, MS.
Prof. Tavio, ST., MT., Ph.D

Nama Mahasiswa

Fahmi Abdulaziz
(3113100021)

Nama Gambar

Detail Balok Induk 1

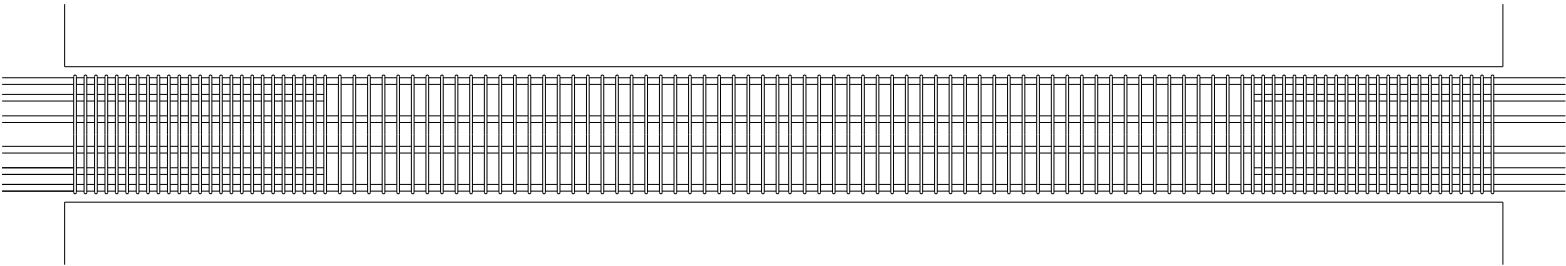
Nomor Gambar

Jumlah Gambar

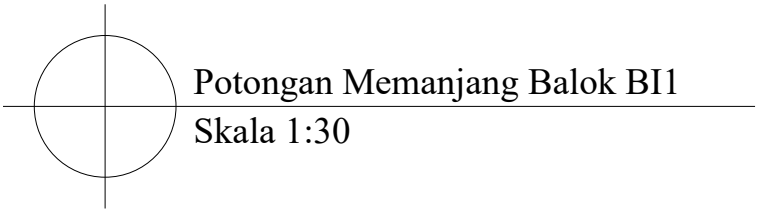
14

42

← D13 - 50 mm → D13 - 70 mm ← D13 - 50 mm →



← 1200 mm → 4500 mm ← 1200 mm →



Potongan Memanjang Balok BI1
Skala 1:30

Keterangan

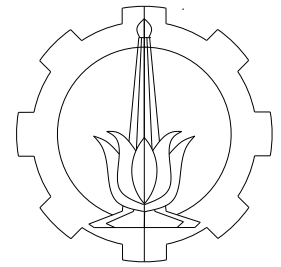
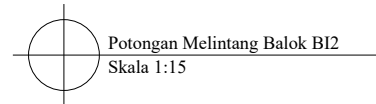
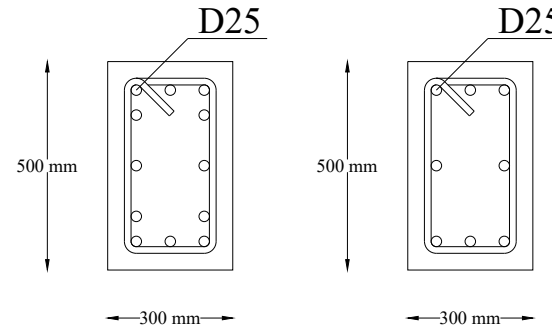
Diameter Tulangan Longitudinal D25

Diameter Tulangan Transversal D16

Cover 40 mm

Tumpuan

Lapangan



Jurusan Teknik Sipil
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Tugas Akhir

Perencanaan Modifikasi Struktur Gedung
Apartemen Grand Dhika City Tower
Emerald Menggunakan Base Isolator
dengan Nonlinear Time History Analysis

Dosen Pembimbing

Dr. Ir. Hidayat Soegihardjo M, MS.
Prof. Tavio, ST., MT., Ph.D

Nama Mahasiswa

Fahmi Abdulaziz
(3113100021)

Nama Gambar

Detail Balok Induk 2

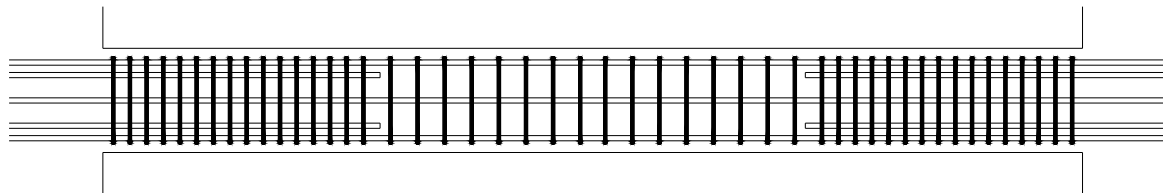
Nomor Gambar

Jumlah Gambar

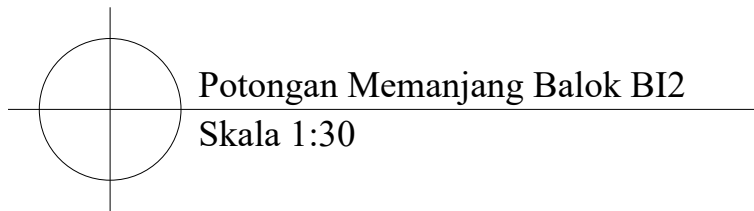
15

42

← D16 - 80 mm → ← D16 - 130 mm → ← D16 - 80 mm →



← 1200 mm → ← 2300 mm → ← 1200 mm →



Keterangan

Diameter Tulangan Longitudinal

D25

Diameter Tulangan Transversal

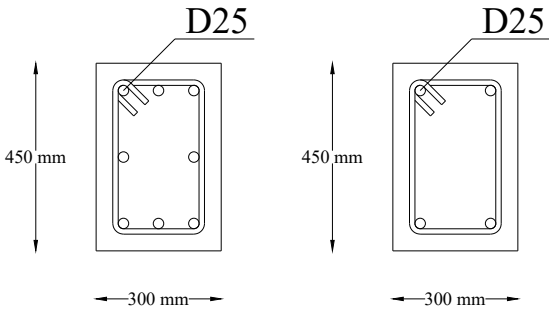
D13

Cover

40 mm

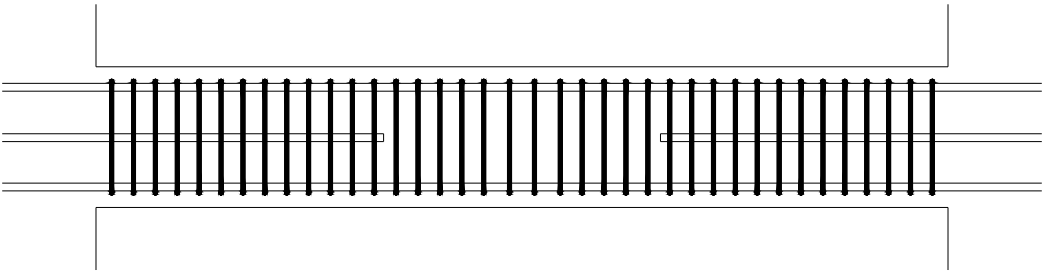
Tumpuan

Lapangan



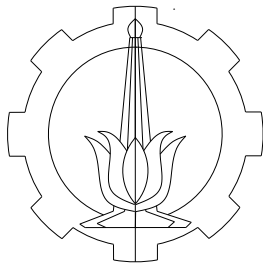
Potongan Melintang Balok BI3
Skala 1:15

D13 - 70 mm



2725 mm

Potongan Memanjang Balok BI3
Skala 1:20



Jurusan Teknik Sipil
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Tugas Akhir

Perencanaan Modifikasi Struktur Gedung
Apartemen Grand Dhika City Tower
Emerald Menggunakan Base Isolator
dengan Nonlinear Time History Analysis

Dosen Pembimbing

Dr. Ir. Hidayat Soegihardjo M, MS.
Prof. Tavio, ST., MT., Ph.D

Nama Mahasiswa

Fahmi Abdulaziz
(3113100021)

Nama Gambar

Detail Balok Induk 3

Nomor Gambar

Jumlah Gambar

16

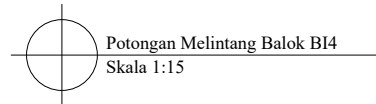
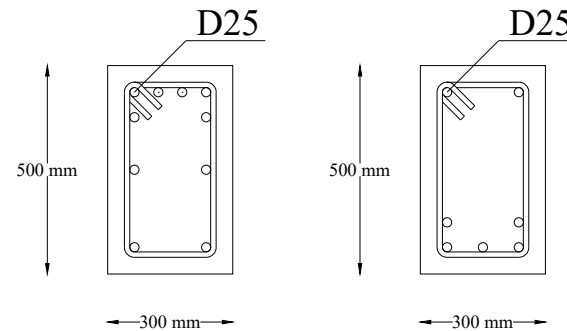
42

Keterangan

Diameter Tulangan Longitudinal	D25
Diameter Tulangan Transversal	D16
Cover	40 mm

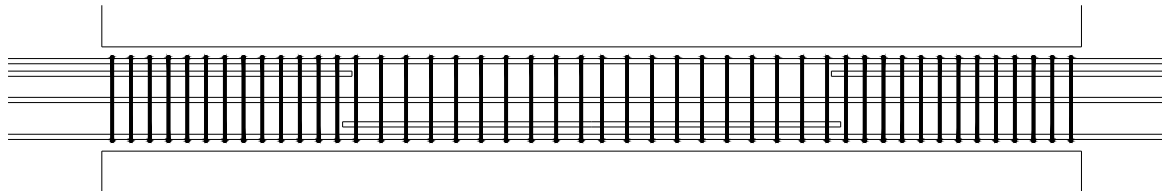
Tumpuan

Lapangan

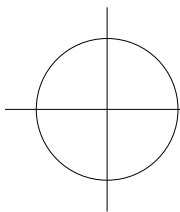


Potongan Melintang Balok BI4
Skala 1:15

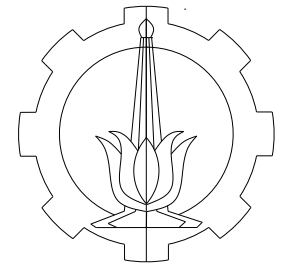
← D13 - 90 mm → ← D13 - 120 mm → ← D13 - 90 mm →



← 1200 mm → ← 2300 mm → ← 1200 mm →



Potongan Memanjang Balok BI4
Skala 1:30



Jurusan Teknik Sipil
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Tugas Akhir

Perencanaan Modifikasi Struktur Gedung
Apartemen Grand Dhika City Tower
Emerald Menggunakan Base Isolator
dengan Nonlinear Time History Analysis

Dosen Pembimbing

Dr. Ir. Hidayat Soegihardjo M, MS.
Prof. Tavio, ST., MT., Ph.D

Nama Mahasiswa

Fahmi Abdulaziz
(3113100021)

Nama Gambar

Detail Balok Induk 4

Nomor Gambar

Jumlah Gambar

17

42

Keterangan

Diameter Tulangan Longitudinal

D25

Diameter Tulangan Transversal

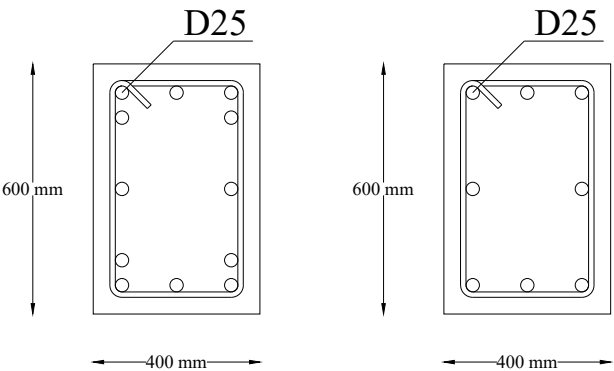
D16

Cover

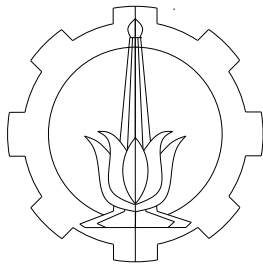
40 mm

Tumpuan

Lapangan



Potongan Melintang Balok BI5
Skala 1:15



Jurusan Teknik Sipil
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Tugas Akhir

Perencanaan Modifikasi Struktur Gedung
Apartemen Grand Dhika City Tower
Emerald Menggunakan Base Isolator
dengan Nonlinear Time History Analysis

Dosen Pembimbing

Dr. Ir. Hidayat Soegihardjo M, MS.
Prof. Tavio, ST., MT., Ph.D

Nama Mahasiswa

Fahmi Abdulaziz
(3113100021)

Nama Gambar

Detail Balok Induk 5

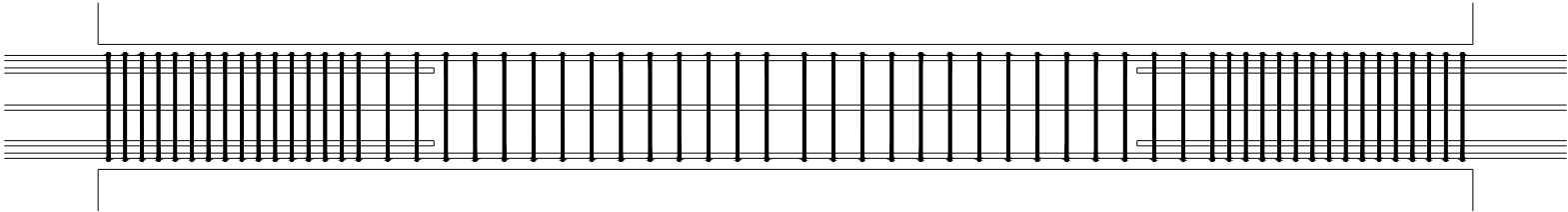
Nomor Gambar

Jumlah Gambar

18

42

← D13 - 80 mm → ← D13 - 140 mm → ← D13 - 80 mm →



← 1200 mm → ← 4200 mm → ← 1200 mm →

Potongan Memanjang Balok BI5
Skala 1:30

Keterangan

Diameter Tulangan Longitudinal

D25

Diameter Tulangan Transversal

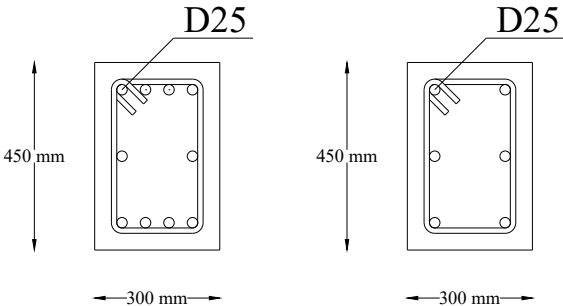
D16

Cover

40 mm

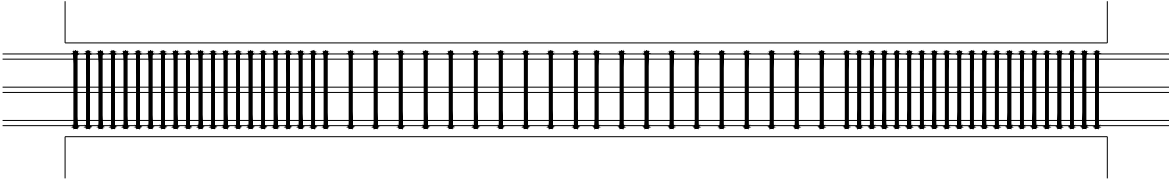
Tumpuan

Lapangan

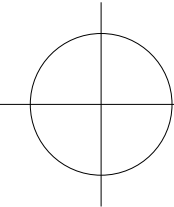


Potongan Melintang Balok BI6
Skala 1:15

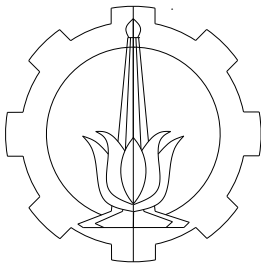
← D13 - 60 mm → ← D13 - 120 mm → ← D13 - 60 mm →



← 1200 mm → ← 2600 mm → ← 1200 mm →



Potongan Memanjang Balok BI6
Skala 1:30



Jurusan Teknik Sipil
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Tugas Akhir

Perencanaan Modifikasi Struktur Gedung
Apartemen Grand Dhika City Tower
Emerald Menggunakan Base Isolator
dengan Nonlinear Time History Analysis

Dosen Pembimbing

Dr. Ir. Hidayat Soegihardjo M, MS.
Prof. Tavio, ST., MT., Ph.D

Nama Mahasiswa

Fahmi Abdulaziz
(3113100021)

Nama Gambar

Detail Balok Induk 6

Nomor Gambar

Jumlah Gambar

19

42

Keterangan

Diameter Tulangan Longitudinal

D25

Diameter Tulangan Transversal

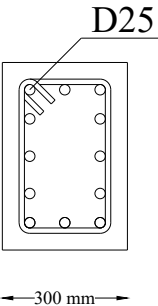
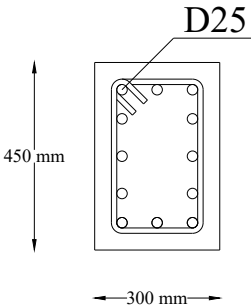
D16

Cover

40 mm

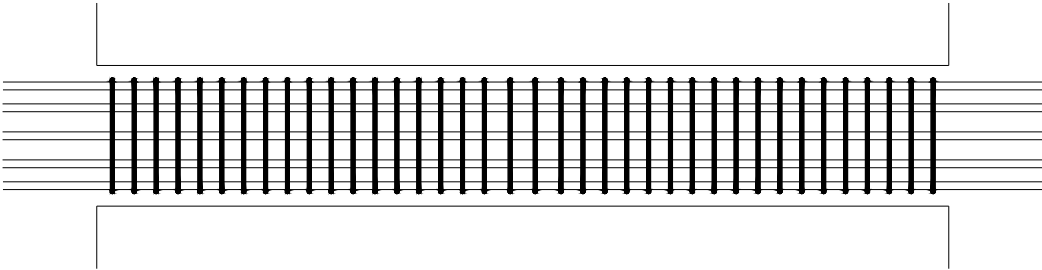
Tumpuan

Lapangan



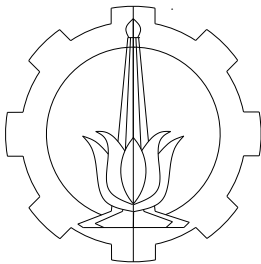
Potongan Melintang Balok BI7
Skala 1:15

← D13 - 70 mm →



← 2725 mm →

Potongan Memanjang Balok BI7
Skala 1:20



Jurusan Teknik Sipil
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Tugas Akhir

Perencanaan Modifikasi Struktur Gedung
Apartemen Grand Dhika City Tower
Emerald Menggunakan Base Isolator
dengan Nonlinear Time History Analysis

Dosen Pembimbing

Dr. Ir. Hidayat Soegihardjo M, MS.
Prof. Tavio, ST., MT., Ph.D

Nama Mahasiswa

Fahmi Abdulaziz
(3113100021)

Nama Gambar

Detail Balok Induk 7

Nomor Gambar

Jumlah Gambar

20

42

Keterangan

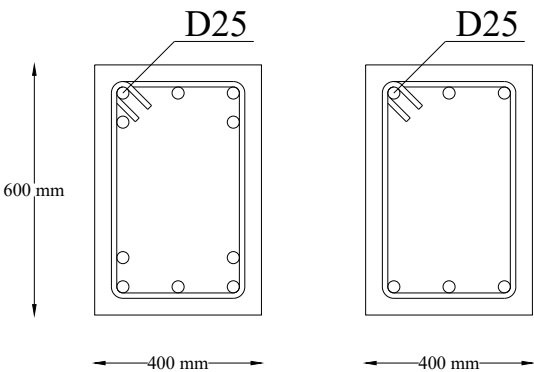
Diameter Tulangan Longitudinal D25

Diameter Tulangan Transversal D16

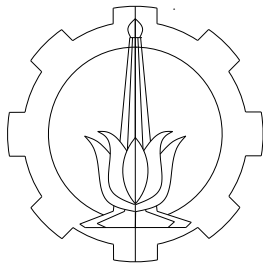
Cover 40 mm

Tumpuan

Lapangan



Potongan Melintang Balok BI8
Skala 1:15



Jurusan Teknik Sipil
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Tugas Akhir

Perencanaan Modifikasi Struktur Gedung
Apartemen Grand Dhika City Tower
Emerald Menggunakan Base Isolator
dengan Nonlinear Time History Analysis

Dosen Pembimbing

Dr. Ir. Hidayat Soegihardjo M, MS.
Prof. Tavio, ST., MT., Ph.D

Nama Mahasiswa

Fahmi Abdulaziz
(3113100021)

Nama Gambar

Detail Balok Induk 8

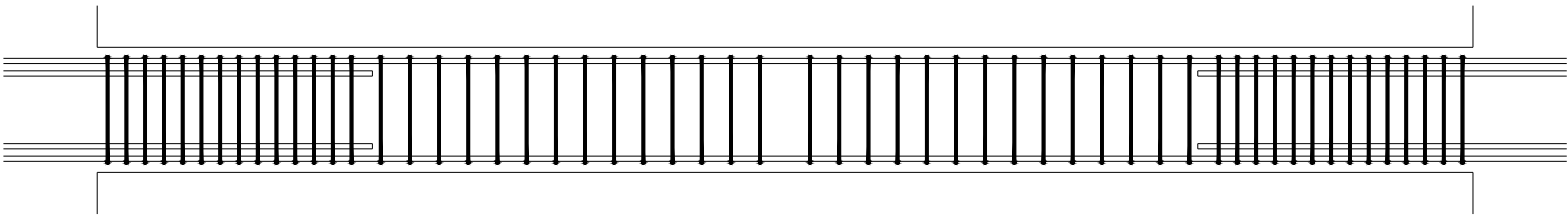
Nomor Gambar

Jumlah Gambar

21

42

D13 - 90 mm D13 - 140 mm D13 - 90 mm



1200 mm 4200 mm 1200 mm

Potongan Memanjang Balok BI8
Skala 1:30

Keterangan

Diameter Tulangan Longitudinal

D25

Diameter Tulangan Transversal

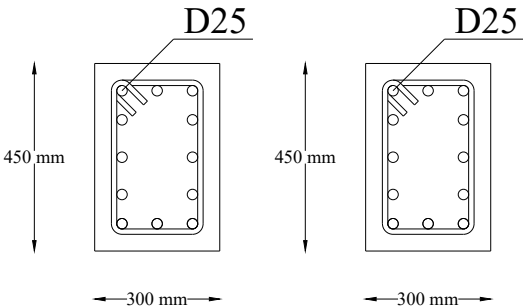
D16

Cover

40 mm

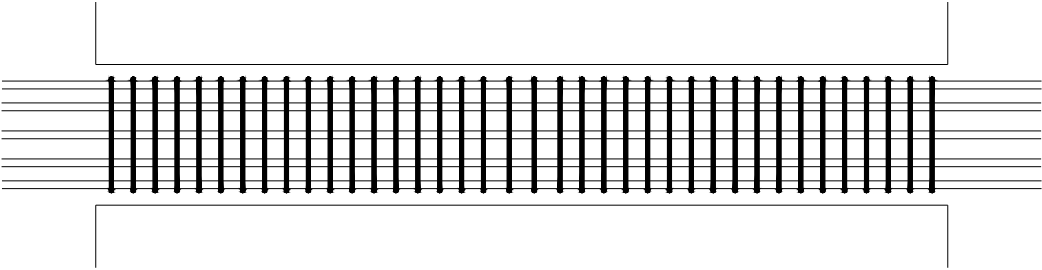
Tumpuan

Lapangan

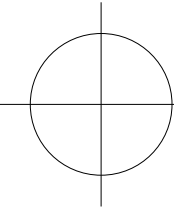


Potongan Melintang Balok BI10
Skala 1:15

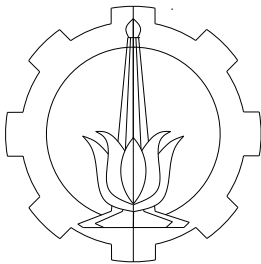
D13 - 70 mm



4088 mm



Potongan Memanjang Balok BI10
Skala 1:30



Jurusan Teknik Sipil
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Tugas Akhir

Perencanaan Modifikasi Struktur Gedung
Apartemen Grand Dhika City Tower
Emerald Menggunakan Base Isolator
dengan Nonlinear Time History Analysis

Dosen Pembimbing

Dr. Ir. Hidayat Soegihardjo M, MS.
Prof. Tavio, ST., MT., Ph.D

Nama Mahasiswa

Fahmi Abdulaziz
(3113100021)

Nama Gambar

Detail Balok Induk 10

Nomor Gambar

Jumlah Gambar

23

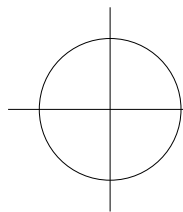
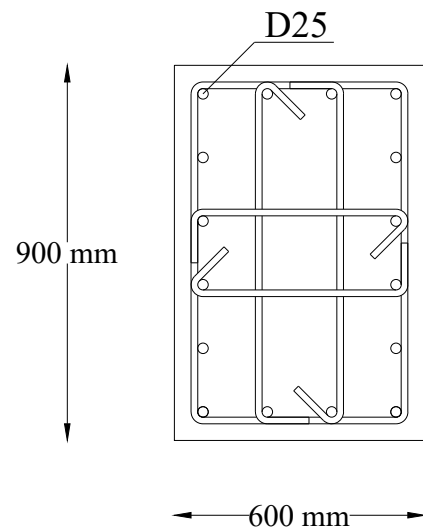
42

Keterangan

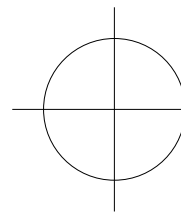
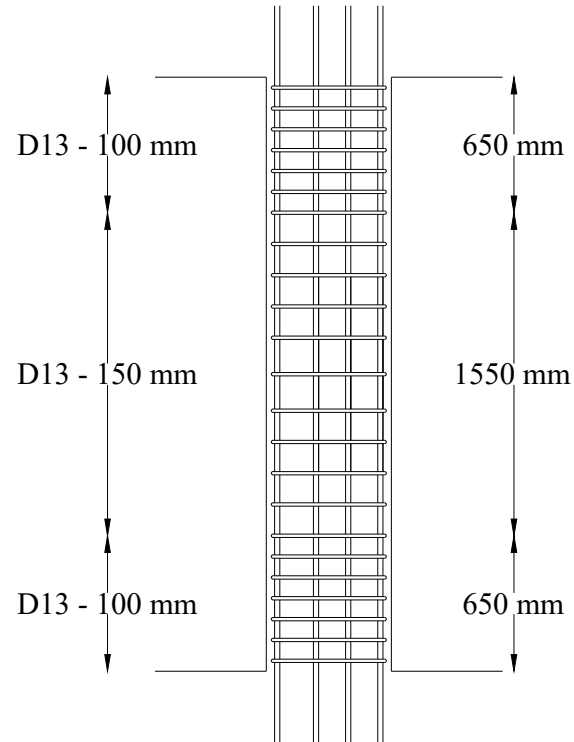
Diameter Tulangan Longitudinal D25

Diameter Tulangan Transversal D16

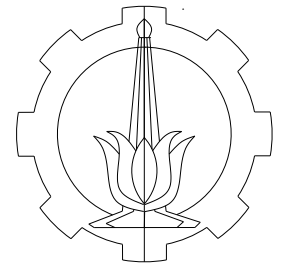
Cover 40 mm



Potongan Melintang Kolom K1
Skala 1:15



Potongan Memanjang Kolom K1
Skala 1:30



Jurusan Teknik Sipil
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Tugas Akhir

Perencanaan Modifikasi Struktur Gedung
Apartemen Grand Dhika City Tower
Emerald Menggunakan Base Isolator
dengan Nonlinear Time History Analysis

Dosen Pembimbing

Dr. Ir. Hidayat Soegihardjo M, MS.
Prof. Tavio, ST., MT., Ph.D

Nama Mahasiswa

Fahmi Abdulaziz
(3113100021)

Nama Gambar

Nomor Gambar

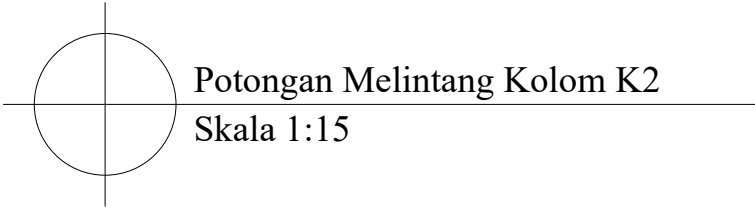
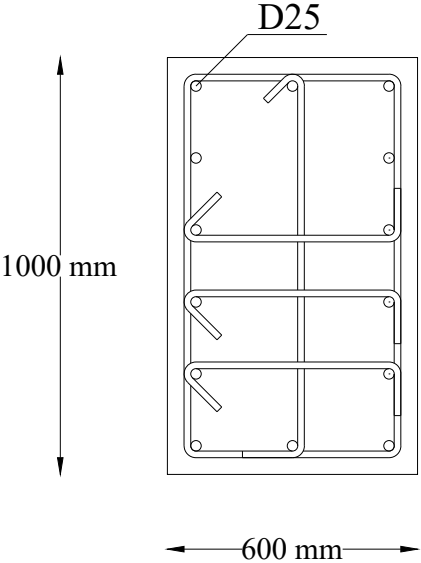
Jumlah Gambar

24

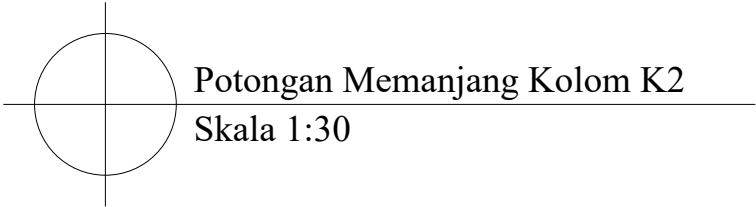
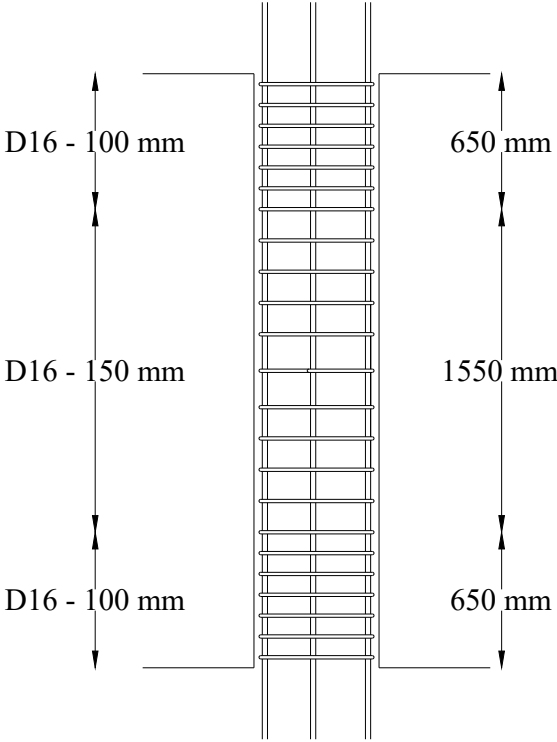
42

Keterangan

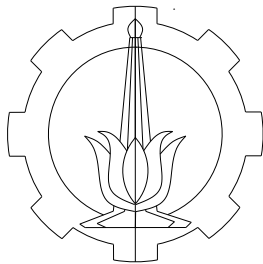
Diameter Tulangan Longitudinal	D25
Diameter Tulangan Transversal	D16
Cover	40 mm



Potongan Melintang Kolom K2
Skala 1:15



Potongan Memanjang Kolom K2
Skala 1:30



Jurusan Teknik Sipil
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Tugas Akhir

Perencanaan Modifikasi Struktur Gedung
Apartemen Grand Dhika City Tower
Emerald Menggunakan Base Isolator
dengan Nonlinear Time History Analysis

Dosen Pembimbing

Dr. Ir. Hidayat Soegihardjo M, MS.
Prof. Tavio, ST., MT., Ph.D

Nama Mahasiswa

Fahmi Abdulaziz
(3113100021)

Nama Gambar

Nomor Gambar

25

Jumlah Gambar

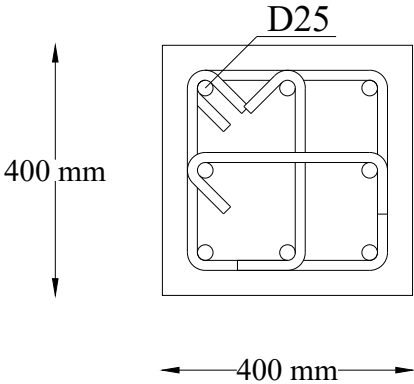
42

Keterangan

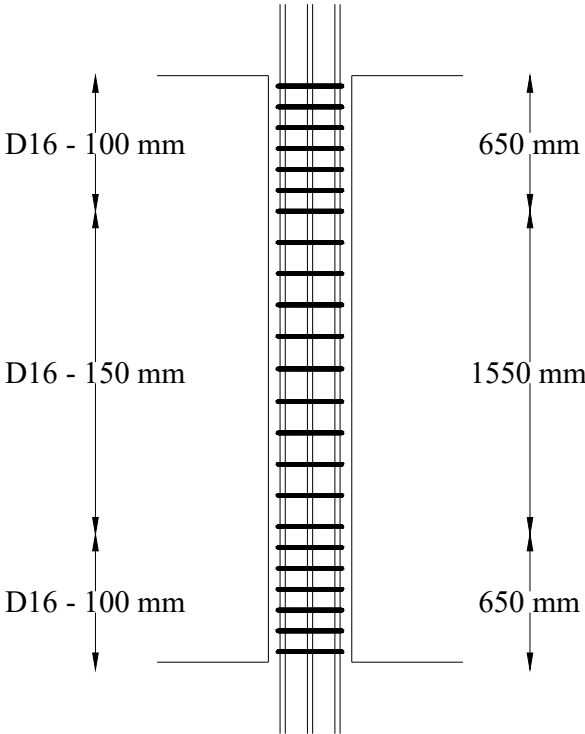
Diameter Tulangan Longitudinal D25

Diameter Tulangan Transversal D16

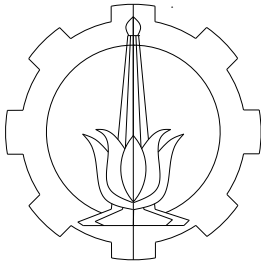
Cover 40 mm



Potongan Melintang Kolom K3
Skala 1:10



Potongan Memanjang Kolom K3
Skala 1:30



Jurusan Teknik Sipil
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Tugas Akhir

Perencanaan Modifikasi Struktur Gedung
Apartemen Grand Dhika City Tower
Emerald Menggunakan Base Isolator
dengan Nonlinear Time History Analysis

Dosen Pembimbing

Dr. Ir. Hidayat Soegihardjo M, MS.
Prof. Tavio, ST., MT., Ph.D

Nama Mahasiswa

Fahmi Abdulaziz
(3113100021)

Nama Gambar

Nomor Gambar

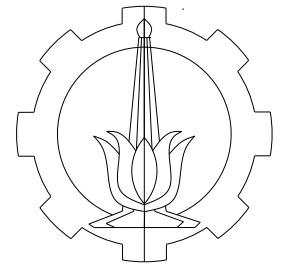
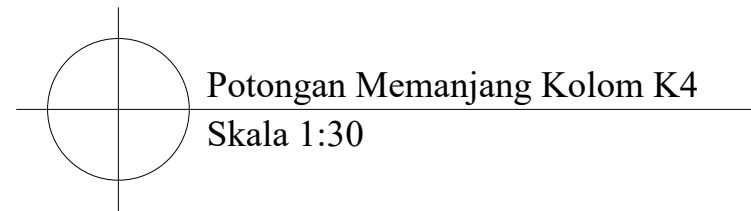
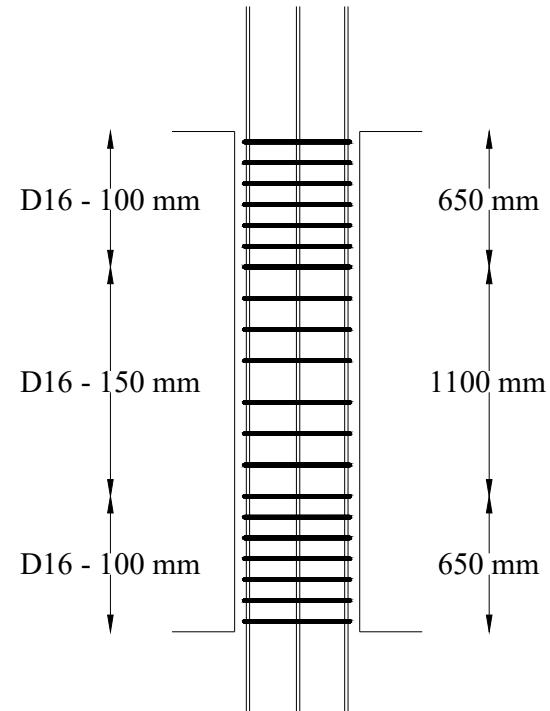
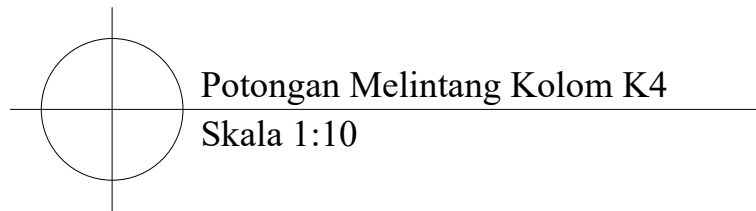
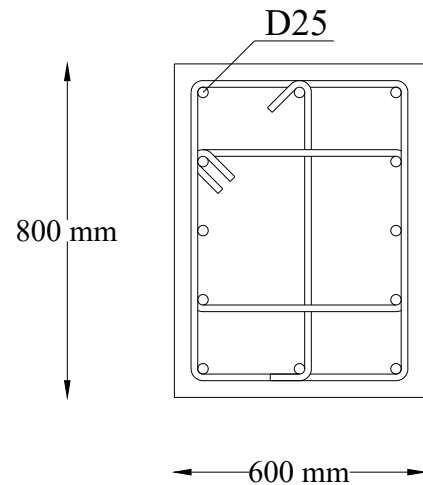
26

Jumlah Gambar

42

Keterangan

Diameter Tulangan Longitudinal	D25
Diameter Tulangan Transversal	D16
Cover	40 mm



Jurusan Teknik Sipil
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Tugas Akhir

Perencanaan Modifikasi Struktur Gedung
Apartemen Grand Dhika City Tower
Emerald Menggunakan Base Isolator
dengan Nonlinear Time History Analysis

Dosen Pembimbing

Dr. Ir. Hidayat Soegihardjo M, MS.
Prof. Tavio, ST., MT., Ph.D

Nama Mahasiswa

Fahmi Abdulaziz
(3113100021)

Nama Gambar

Nomor Gambar

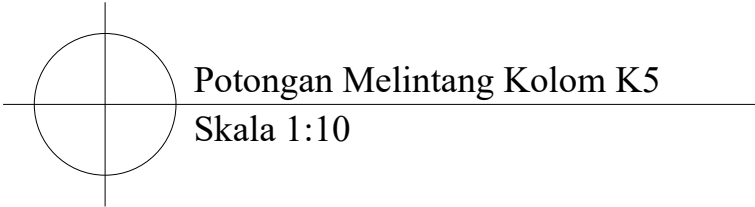
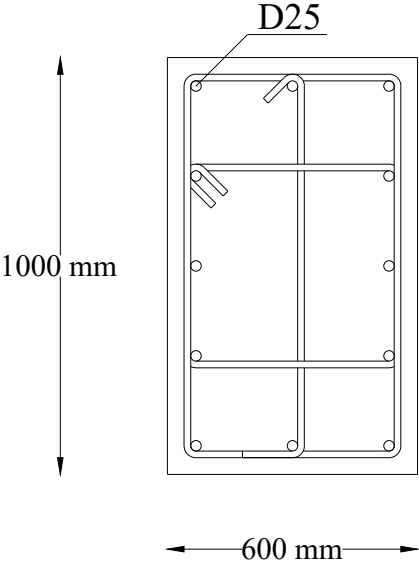
27

Jumlah Gambar

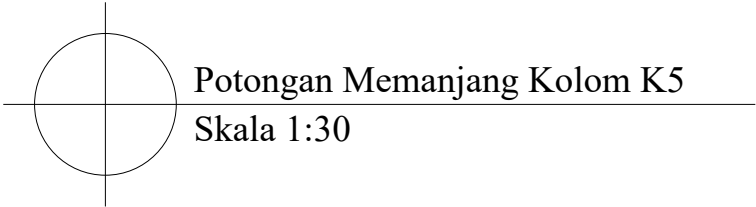
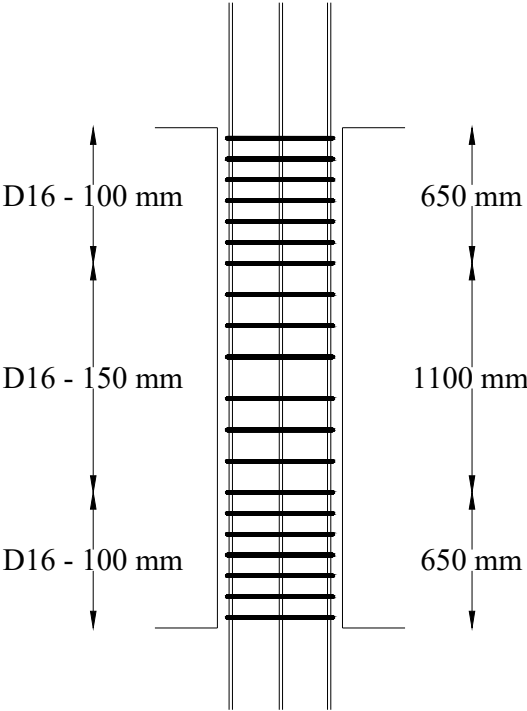
42

Keterangan

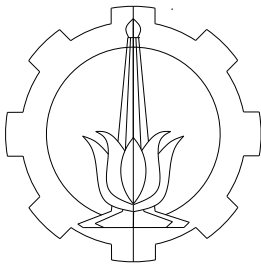
Diameter Tulangan Longitudinal	D25
Diameter Tulangan Transversal	D16
Cover	40 mm



Potongan Melintang Kolom K5
Skala 1:10



Potongan Memanjang Kolom K5
Skala 1:30



Jurusan Teknik Sipil
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Tugas Akhir

Perencanaan Modifikasi Struktur Gedung
Apartemen Grand Dhika City Tower
Emerald Menggunakan Base Isolator
dengan Nonlinear Time History Analysis

Dosen Pembimbing

Dr. Ir. Hidayat Soegihardjo M, MS.
Prof. Tavio, ST., MT., Ph.D

Nama Mahasiswa

Fahmi Abdulaziz
(3113100021)

Nama Gambar

Nomor Gambar

Jumlah Gambar

28

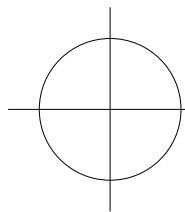
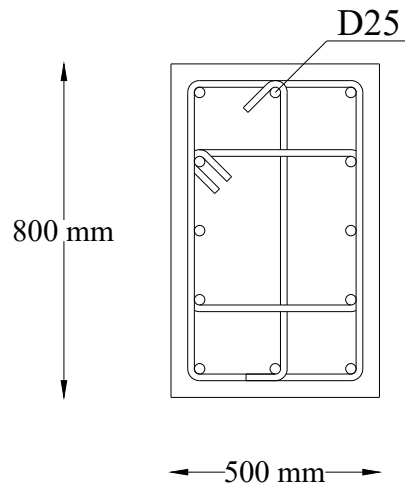
42

Keterangan

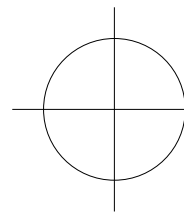
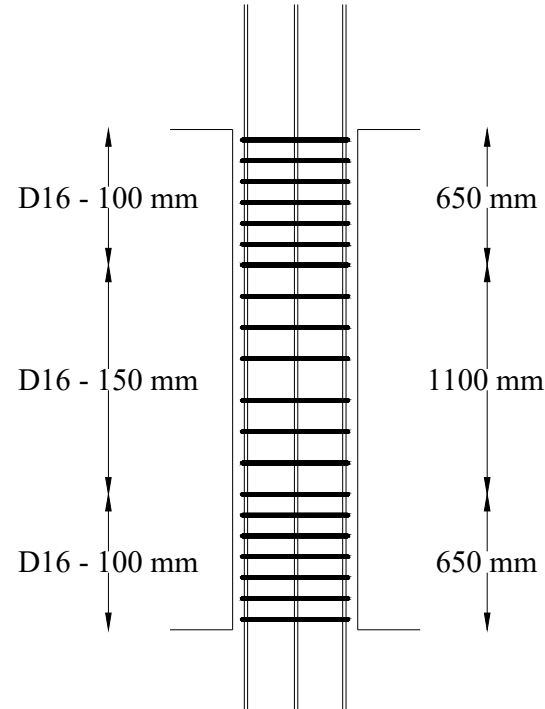
Diameter Tulangan Longitudinal D25

Diameter Tulangan Transversal D16

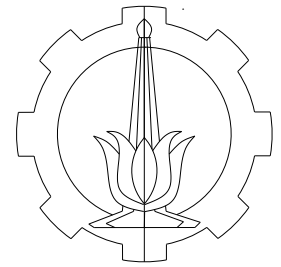
Cover 40 mm



Potongan Melintang Kolom K6
Skala 1:10



Potongan Memanjang Kolom K6
Skala 1:30



Jurusan Teknik Sipil
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Tugas Akhir

Perencanaan Modifikasi Struktur Gedung
Apartemen Grand Dhika City Tower
Emerald Menggunakan Base Isolator
dengan Nonlinear Time History Analysis

Dosen Pembimbing

Dr. Ir. Hidayat Soegihardjo M, MS.
Prof. Tavio, ST., MT., Ph.D

Nama Mahasiswa

Fahmi Abdulaziz
(3113100021)

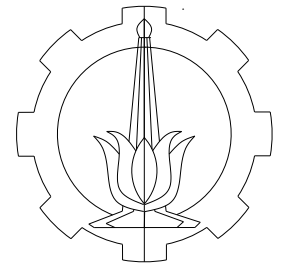
Nama Gambar

Nomor Gambar

Jumlah Gambar

29

42



Jurusan Teknik Sipil
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Tugas Akhir

Perencanaan Modifikasi Struktur Gedung
Apartemen Grand Dhika City Tower
Emerald Menggunakan Base Isolator
dengan Nonlinear Time History Analysis

Dosen Pembimbing

Dr. Ir. Hidayat Soegihardjo M, MS.
Prof. Tavio, ST., MT., Ph.D

Nama Mahasiswa

Fahmi Abdulaziz
(3113100021)

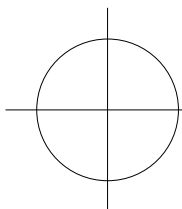
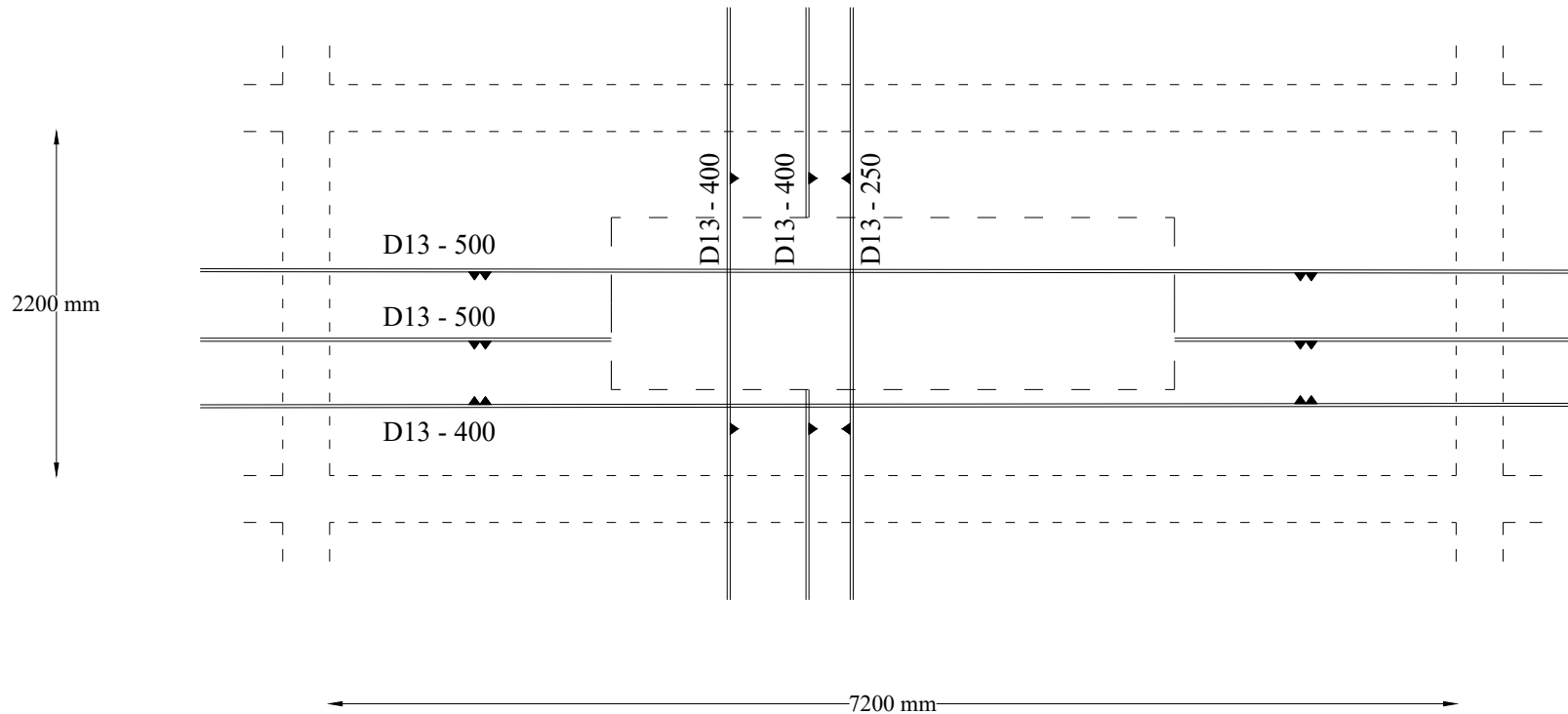
Nama Gambar

Nomor Gambar

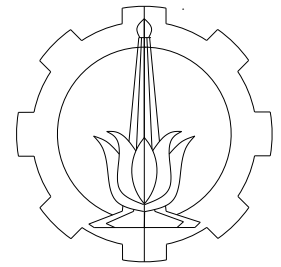
Jumlah Gambar

30

42



Penulangan Plat P1
Skala 1:40



Jurusan Teknik Sipil
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Tugas Akhir

Perencanaan Modifikasi Struktur Gedung
Apartemen Grand Dhika City Tower
Emerald Menggunakan Base Isolator
dengan Nonlinear Time History Analysis

Dosen Pembimbing

Dr. Ir. Hidayat Soegihardjo M, MS.
Prof. Tavio, ST., MT., Ph.D

Nama Mahasiswa

Fahmi Abdulaziz
(3113100021)

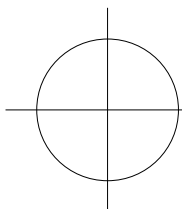
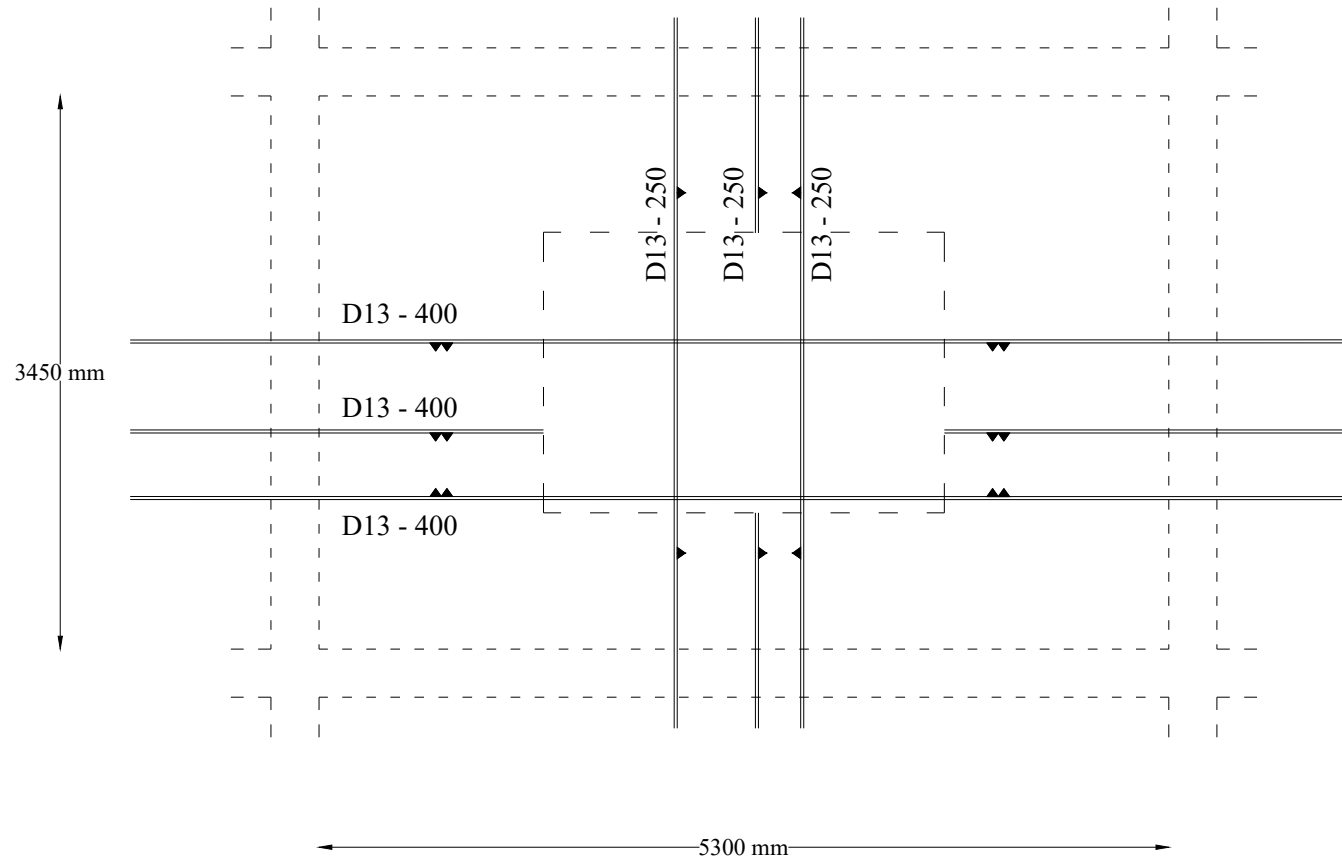
Nama Gambar

Nomor Gambar

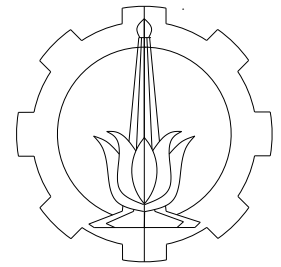
Jumlah Gambar

31

42



Penulangan Plat P2
Skala 1:40



Jurusan Teknik Sipil
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Tugas Akhir

Perencanaan Modifikasi Struktur Gedung
Apartemen Grand Dhika City Tower
Emerald Menggunakan Base Isolator
dengan Nonlinear Time History Analysis

Dosen Pembimbing

Dr. Ir. Hidayat Soegihardjo M, MS.
Prof. Tavio, ST., MT., Ph.D

Nama Mahasiswa

Fahmi Abdulaziz
(3113100021)

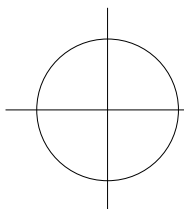
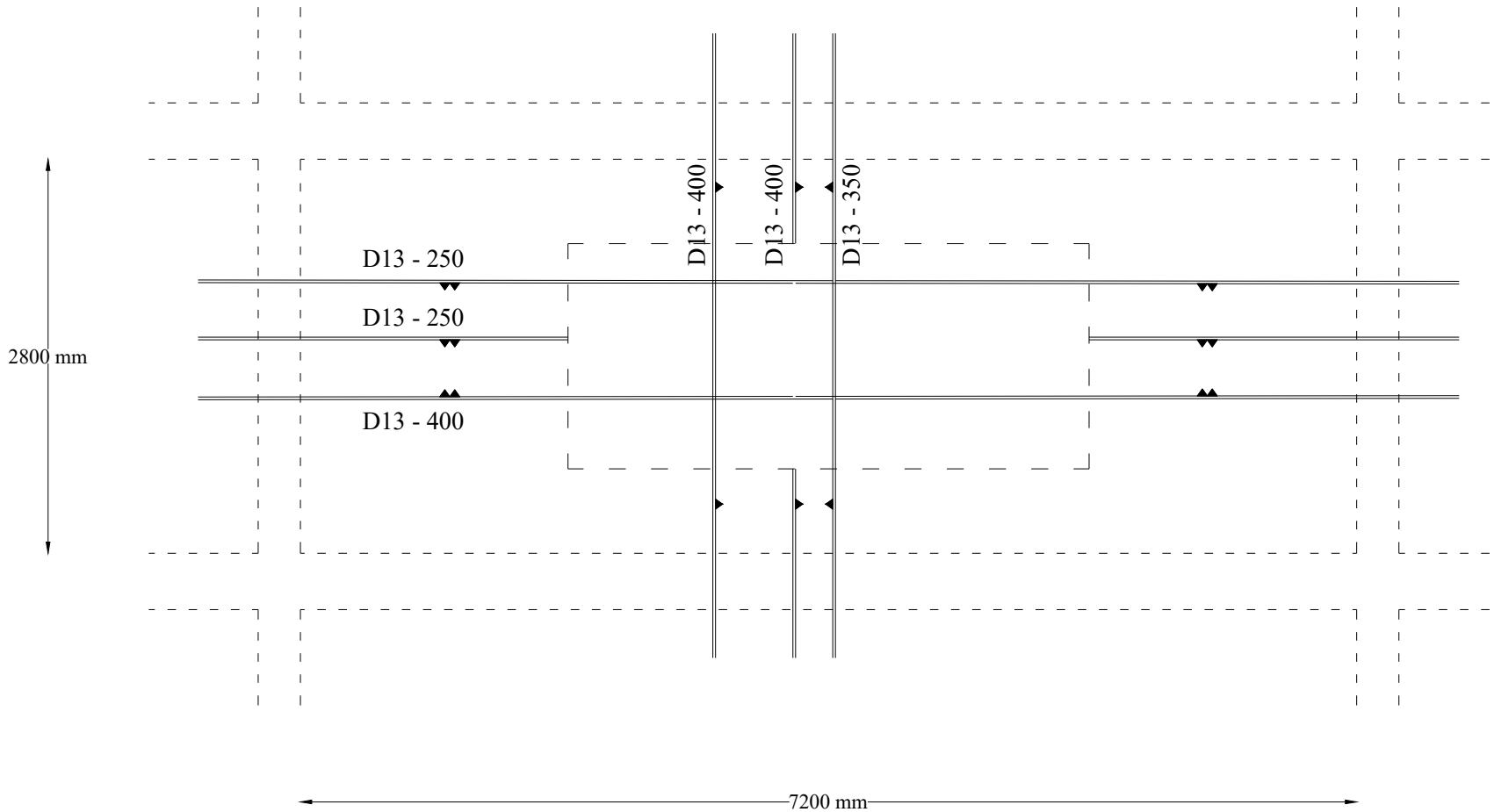
Nama Gambar

Nomor Gambar

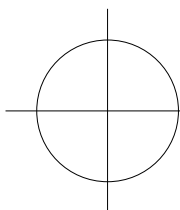
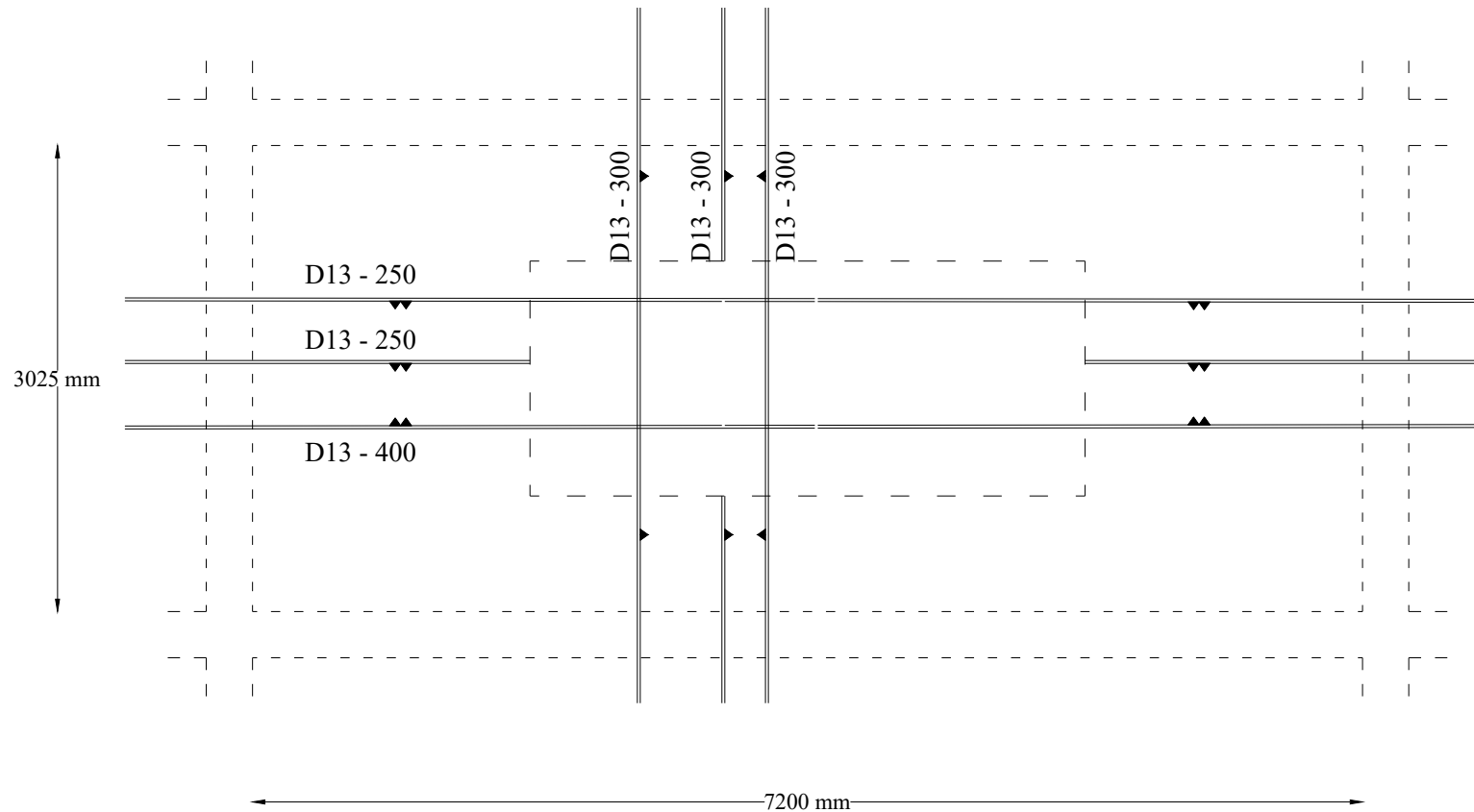
32

Jumlah Gambar

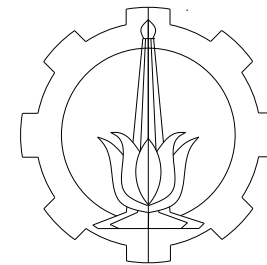
42



Penulangan Plat P3
Skala 1:40



Penulangan Plat P4
Skala 1:40



Jurusan Teknik Sipil
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Tugas Akhir

Perencanaan Modifikasi Struktur Gedung
Apartemen Grand Dhika City Tower
Emerald Menggunakan Base Isolator
dengan Nonlinear Time History Analysis

Dosen Pembimbing

Dr. Ir. Hidayat Soegihardjo M, MS.
Prof. Tavio, ST., MT., Ph.D

Nama Mahasiswa

Fahmi Abdulaziz
(3113100021)

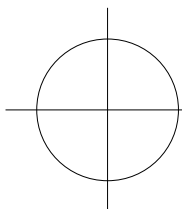
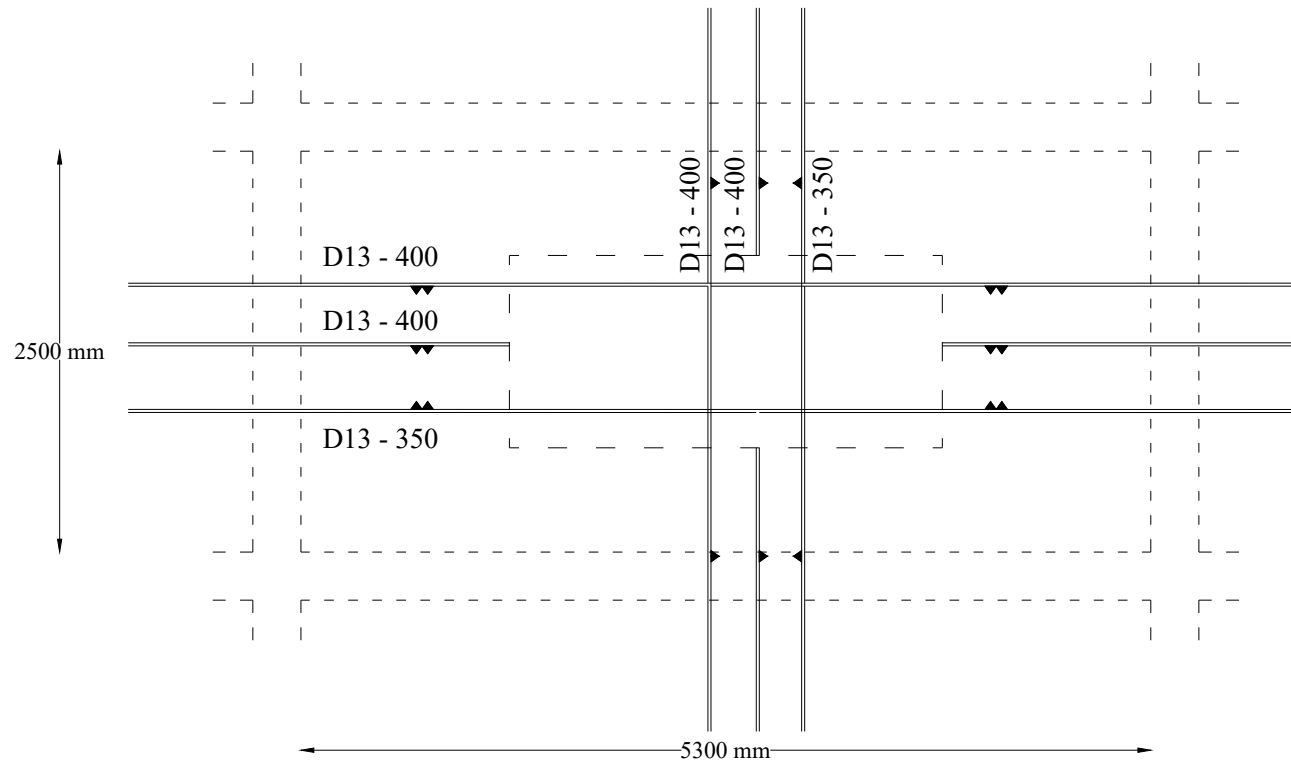
Nama Gambar

Nomor Gambar

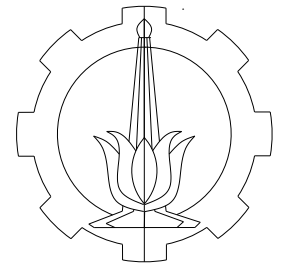
Jumlah Gambar

33

42



Penulangan Plat P5
Skala 1:40



Jurusan Teknik Sipil
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Tugas Akhir

Perencanaan Modifikasi Struktur Gedung
Apartemen Grand Dhika City Tower
Emerald Menggunakan Base Isolator
dengan Nonlinear Time History Analysis

Dosen Pembimbing

Dr. Ir. Hidayat Soegihardjo M, MS.
Prof. Tavio, ST., MT., Ph.D

Nama Mahasiswa

Fahmi Abdulaziz
(3113100021)

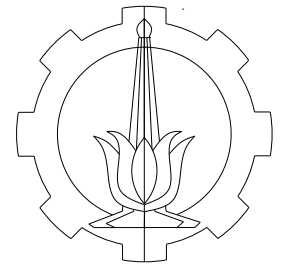
Nama Gambar

Nomor Gambar

Jumlah Gambar

34

42



Jurusan Teknik Sipil
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Tugas Akhir

Perencanaan Modifikasi Struktur Gedung
Apartemen Grand Dhika City Tower
Emerald Menggunakan Base Isolator
dengan Nonlinear Time History Analysis

Dosen Pembimbing

Dr. Ir. Hidayat Soegihardjo M, MS.
Prof. Tavio, ST., MT., Ph.D

Nama Mahasiswa

Fahmi Abdulaziz
(3113100021)

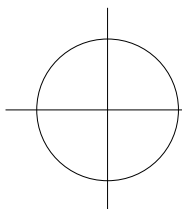
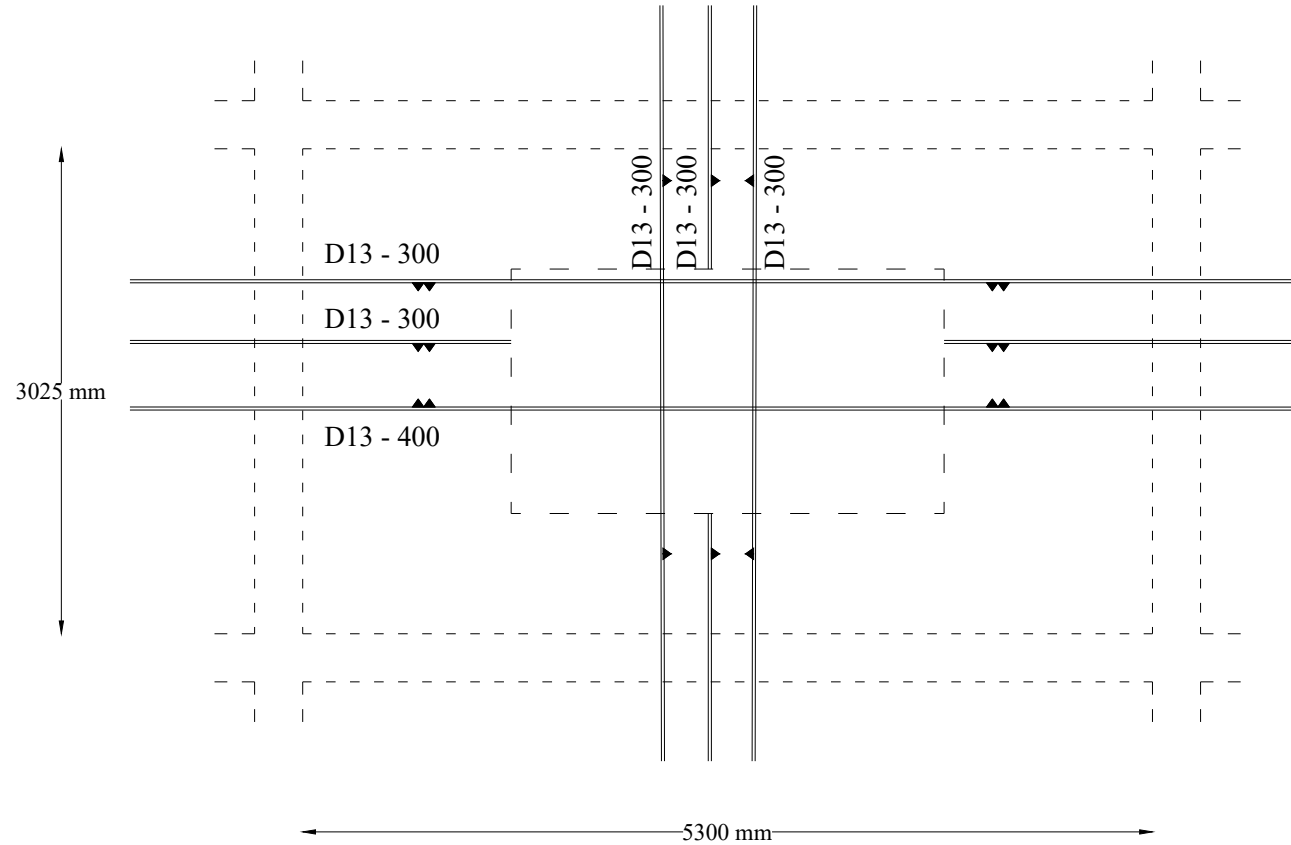
Nama Gambar

Nomor Gambar

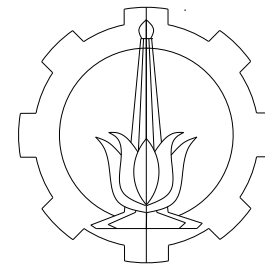
35

Jumlah Gambar

42



Penulangan Plat P6
Skala 1:40



Jurusan Teknik Sipil
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Tugas Akhir

Perencanaan Modifikasi Struktur Gedung
Apartemen Grand Dhika City Tower
Emerald Menggunakan Base Isolator
dengan Nonlinear Time History Analysis

Dosen Pembimbing

Dr. Ir. Hidayat Soegihardjo M, MS.
Prof. Tavio, ST., MT., Ph.D

Nama Mahasiswa

Fahmi Abdulaziz
(3113100021)

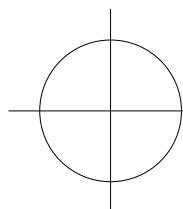
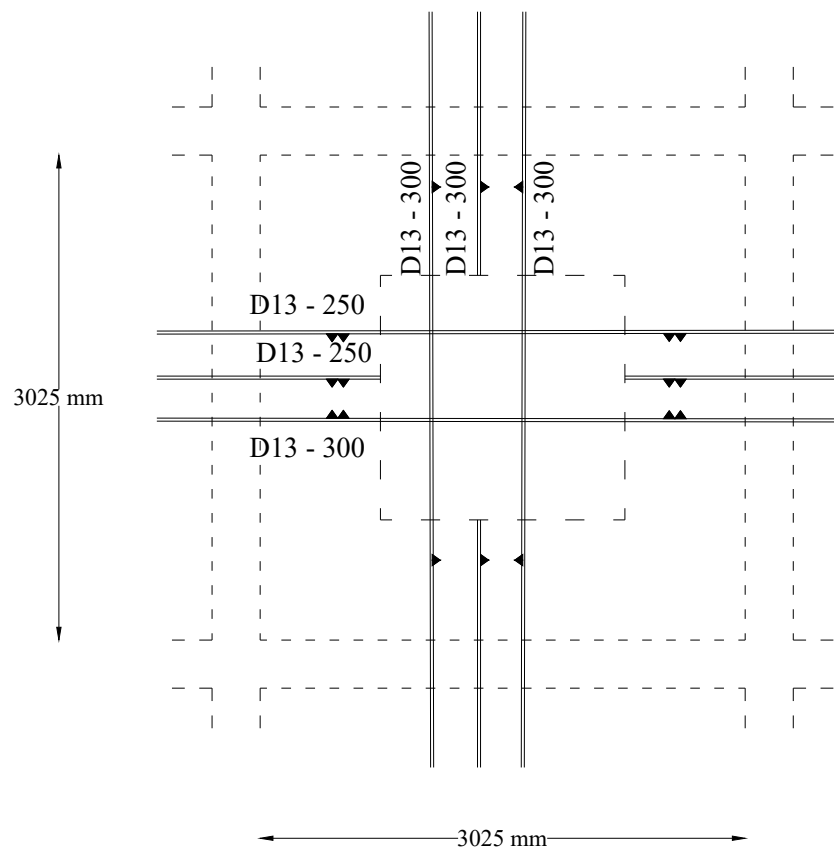
Nama Gambar

Nomor Gambar

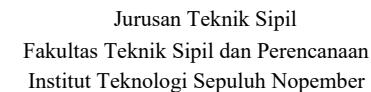
Jumlah Gambar

36

42



Penulangan Plat P7
Skala 1:40



Perencanaan Modifikasi Struktur Gedung Apartemen Grand Dhika City Tower Emerald Menggunakan Base Isolator dengan Nonlinear Time History Analysis

Dr. Ir. Hidayat Soegihardjo M, MS.
Prof. Tavio, ST., MT., Ph.D

Fahmi Abdulaziz
(3113100021)

37

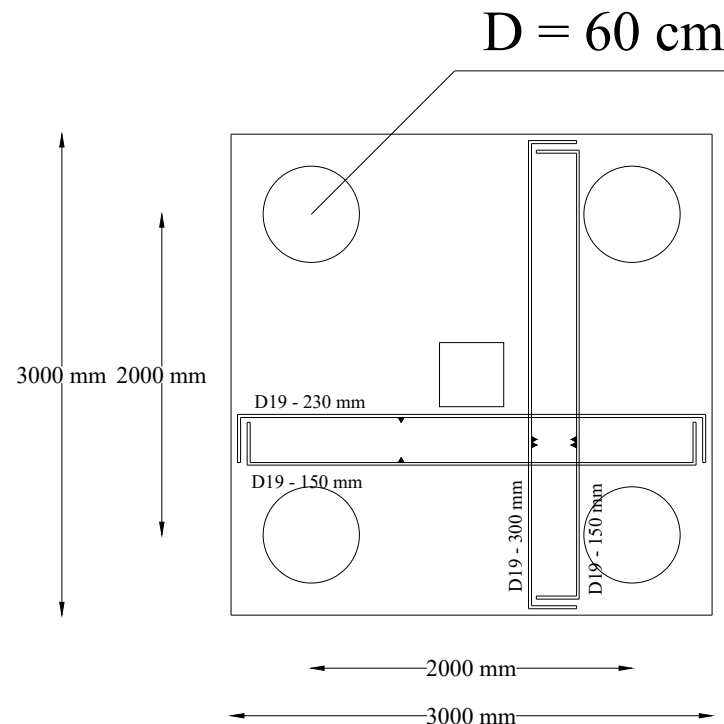
42

Figure 1 illustrates the reinforcement details of the column. The central core is reinforced with 8D29 bars. The core is surrounded by a 100 mm thick concrete layer. The total height of the column is 1792 mm. The top and bottom reinforcement details are also shown, with the top reinforcement having a width of 346 mm.

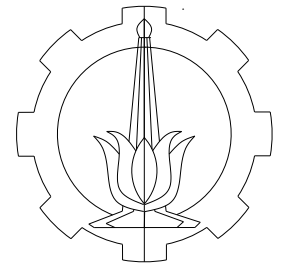
700 mm

640 mm

Potongan Pilecap 1
Skala 1:40



Tampak Atas Pilecap 1
Skala 1:40



Jurusan Teknik Sipil
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Tugas Akhir

Perencanaan Modifikasi Struktur Gedung
Apartemen Grand Dhika City Tower
Emerald Menggunakan Base Isolator
dengan Nonlinear Time History Analysis

Dosen Pembimbing

Dr. Ir. Hidayat Soegihardjo M, MS.
Prof. Tavio, ST., MT., Ph.D

Nama Mahasiswa

Fahmi Abdulaziz
(3113100021)

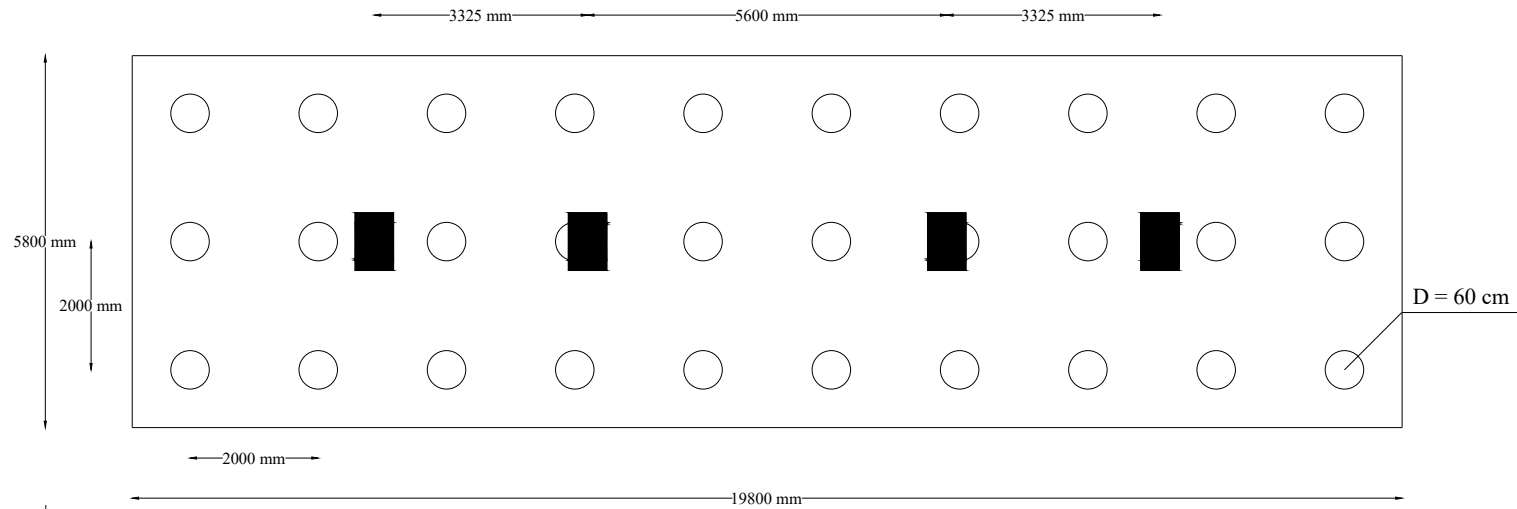
Nama Gambar

Nomor Gambar

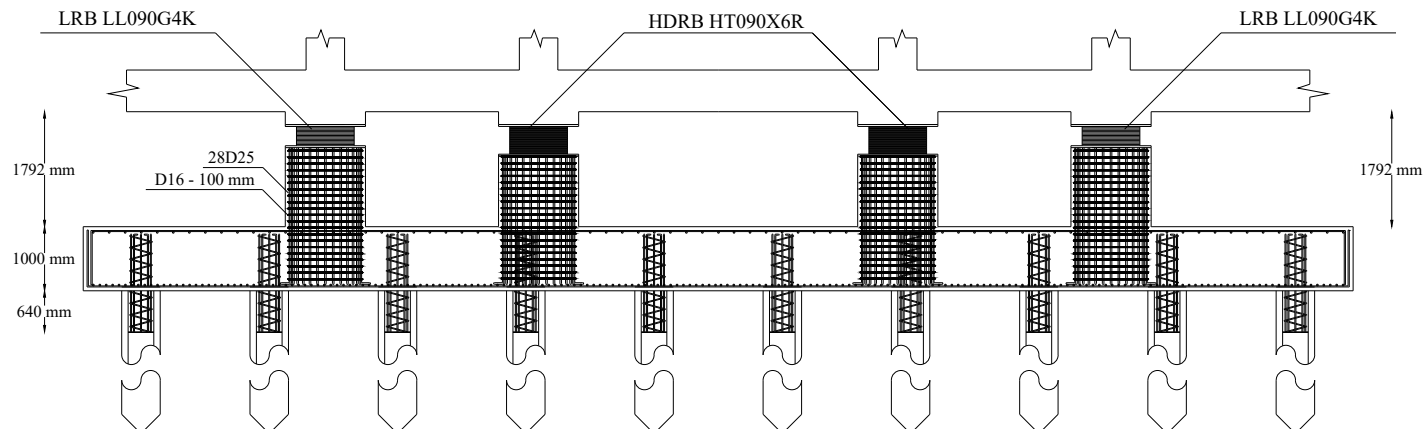
Jumlah Gambar

38

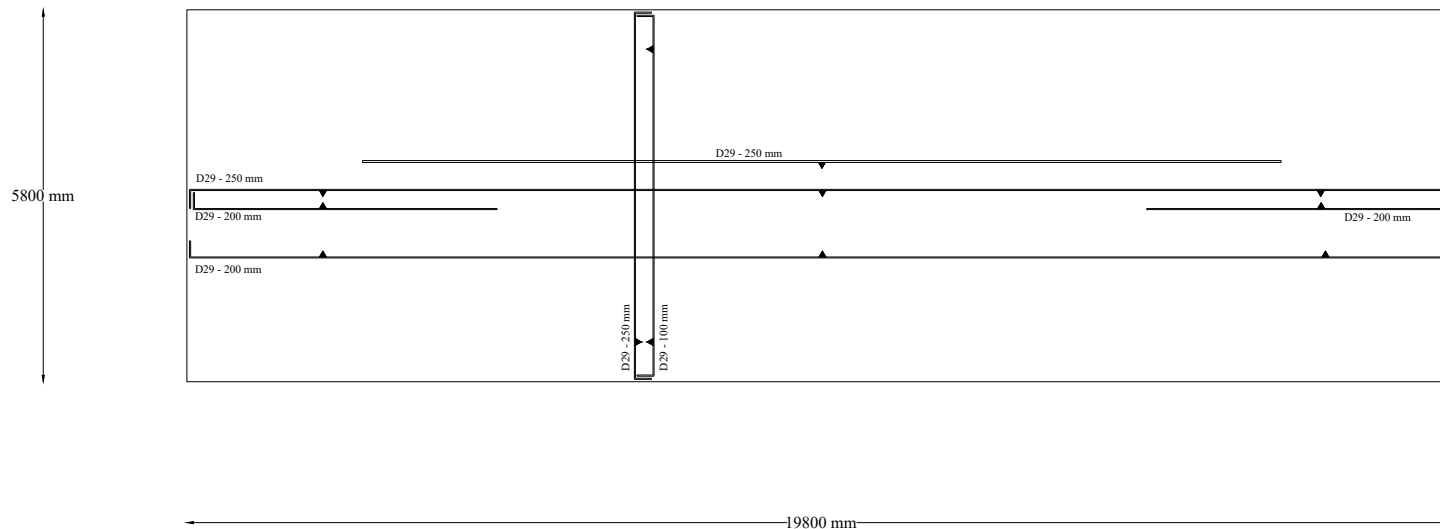
42



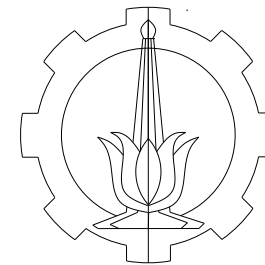
Tampak Atas Pilecap 2
Skala 1:100



Potongan Melintang Pilecap 2
Skala 1:100



Penulangan Pilecap 2
Skala 1:100



Jurusan Teknik Sipil
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Tugas Akhir

Perencanaan Modifikasi Struktur Gedung
Apartemen Grand Dhika City Tower
Emerald Menggunakan Base Isolator
dengan Nonlinear Time History Analysis

Dosen Pembimbing

Dr. Ir. Hidayat Soegihardjo M, MS.
Prof. Tavo, ST., MT., Ph.D

Nama Mahasiswa

Fahmi Abdulaziz
(3113100021)

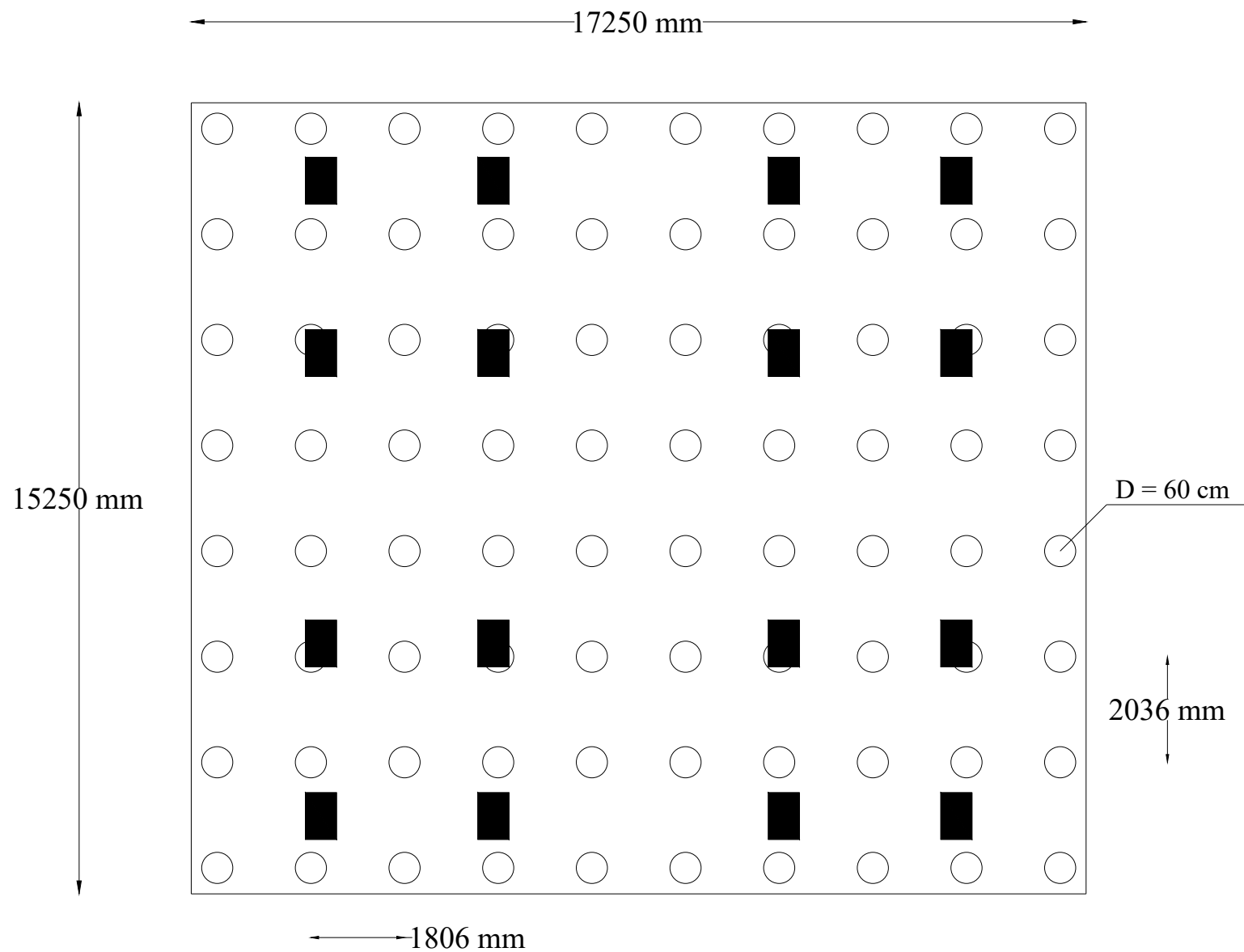
Nama Gambar

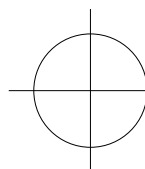
Nomor Gambar

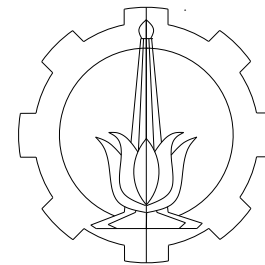
39

Jumlah Gambar

42




 Tampak Atas Pilecap 3
 Skala 1:100



Jurusan Teknik Sipil
 Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
 Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Tugas Akhir

Perencanaan Modifikasi Struktur Gedung
 Apartemen Grand Dhika City Tower
 Emerald Menggunakan Base Isolator
 dengan Nonlinear Time History Analysis

Dosen Pembimbing

Dr. Ir. Hidayat Soegihardjo M, MS.
 Prof. Tavio, ST., MT., Ph.D

Nama Mahasiswa

Fahmi Abdulaziz
 (3113100021)

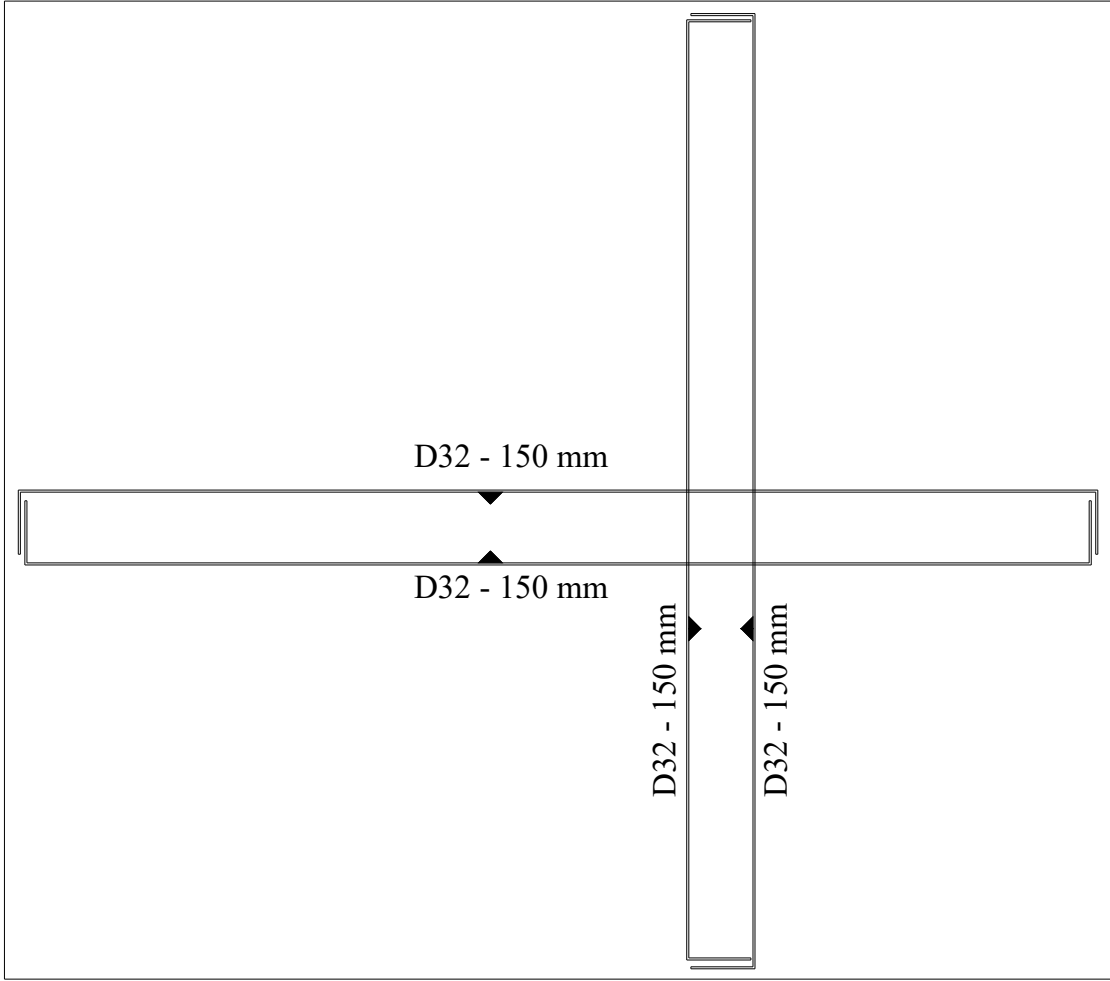
Nama Gambar

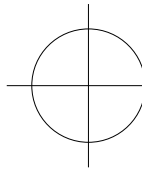
Nomor Gambar

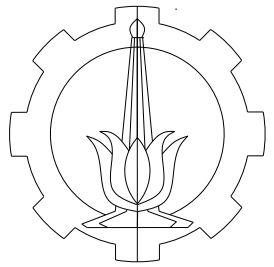
Jumlah Gambar

40

42



 Tampak Atas Pilecap 3
Skala 1:100



Jurusan Teknik Sipil
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Tugas Akhir

Perencanaan Modifikasi Struktur Gedung
Apartemen Grand Dhika City Tower
Emerald Menggunakan Base Isolator
dengan Nonlinear Time History Analysis

Dosen Pembimbing

Dr. Ir. Hidayat Soegihardjo M, MS.
Prof. Tavio, ST., MT., Ph.D

Nama Mahasiswa

Fahmi Abdulaziz
(3113100021)

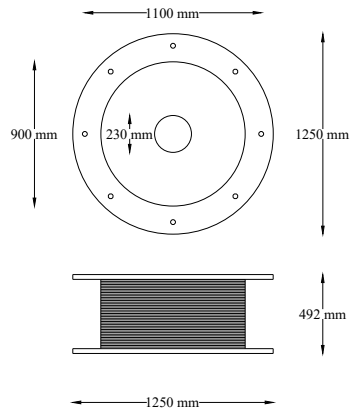
Nama Gambar

Nomor Gambar

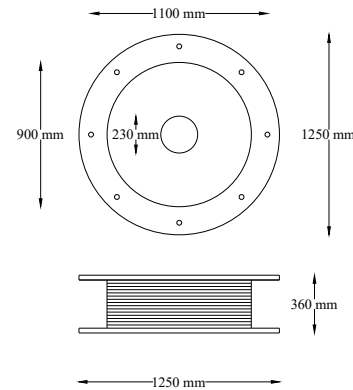
Jumlah Gambar

41

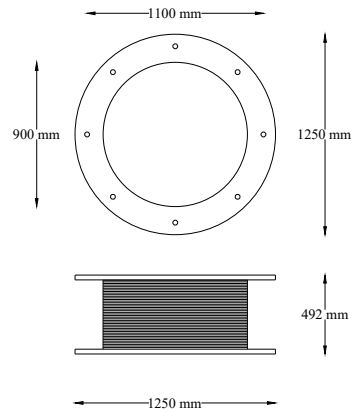
42



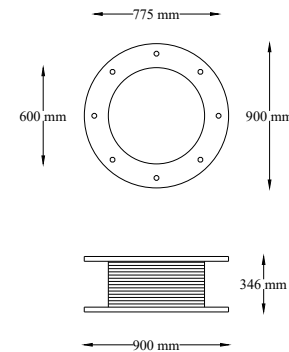
Base Isolator LRB LT090G4K
Skala 1:40



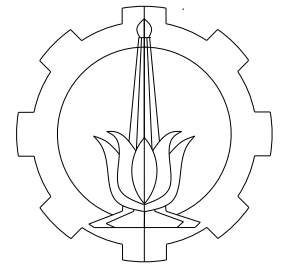
Base Isolator LRB LL090G4K
Skala 1:40



Base Isolator HDRB HT090X6R
Skala 1:40



Base Isolator HDRB HL060X6R
Skala 1:40



Jurusan Teknik Sipil
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Tugas Akhir

Perencanaan Modifikasi Struktur Gedung
Apartemen Grand Dhika City Tower
Emerald Menggunakan Base Isolator
dengan Nonlinear Time History Analysis

Dosen Pembimbing

Dr. Ir. Hidayat Soegihardjo M, MS.
Prof. Tavio, ST., MT., Ph.D

Nama Mahasiswa

Fahmi Abdulaziz
(3113100021)

Nama Gambar

Nomor Gambar

Jumlah Gambar

42

42

MVBR-0514/MVBR-0520 (X0.6R)

Note: There are 2 certification numbers due to difference of some manufacturing process.
Please refer to "Precautions" in page 6 for the certificate number that used for design document.

Code

Compound name	Rubber code	Shear modulus [N/mm ²]	Equivalent damping ratio
X6R	X0.6R	0.620	0.240

●HL Series (Total Rubber Thickness 16cm)

Characteristics		HL060X6R	HL065X6R	HL070X6R	HL075X6R	HL080X6R	HL085X6R	HL090X6R	HL100X6R	HL110X6R	HL120X6R	HL130X6R
Physical Dimensions	Outer diameter (mm)	600	650	700	750	800	850	900	1000	1100	1200	1300
	Inner diameter (mm)	15	15	15	15	20	20	20	25	55	55	55
	Effective plane area (×10 ² mm ²)	2826	3317	3847	4416	5023	5671	6359	7849	9480	11286	13249
	Thickness of one rubber layer (mm)	3.95	4.4	4.9	4.85	5.1	5.25	5.65	6.35	7.2	7.7	8.0
	Number of rubber layers	41	37	34	34	33	32	30	26	23	22	21
	Total rubber thickness (mm)	162	163	167	165	168	168	170	165	166	169	168
	First shape factor	37.0	36.1	34.9	37.9	38.2	39.5	38.9	38.4	36.3	37.2	38.9
	Second shape factor	3.70	3.99	4.20	4.55	4.75	5.06	5.31	6.06	6.64	7.08	7.74
	Diameter of flange (mm)	900	950	1000	1100	1150	1200	1250	1400	1500	1600	1700
	Thickness of flange (edge/center) (mm)	22/28	22/28	22/28	22/28	24/32	24/32	28/36	28/36	30/38	32/40	32/40
	Connecting bolt PCD (mm)	775	825	875	950	1000	1050	1100	1250	1350	1450	1550
	Diameter of connecting bolt hole × qty	Ø33 × 12	Ø33 × 12	Ø33 × 12	Ø33 × 12	Ø33 × 12	Ø33 × 12	Ø33 × 12	Ø39 × 12	Ø39 × 12	Ø39 × 12	Ø39 × 12
	Bolt size (assumption)	M30	M30	M30	M30	M30	M30	M30	M36	M36	M36	M36
	Thickness of each reinforced steel plate (mm)	3.1	3.1	3.1	3.1	4.4	4.4	4.4	4.4	4.4	4.4	5.8
	Total height (mm)	342.0	330.4	324.9	323.2	373.1	368.4	369.1	347.1	338.4	341.8	364.0
	Total weight (tonf)	0.58	0.64	0.70	0.82	1.12	1.23	1.40	1.63	1.88	2.22	2.80
	Total weight (kN)	5.7	6.3	6.9	8.1	11.0	12.1	13.7	15.9	18.4	21.8	27.5
Compression Properties	Critical stress [N/mm ²]	σ_{cr} when $\gamma = 0$	67	78	86	102	111	125	131	149	164	191
	Ultimate compressive stress [N/mm ²]	(γ_0, σ_0)	(0.41)	(0.48)	(0.51)	(0.56)	(0.59)	(0.60)	(0.60)	(0.60)	(0.60)	(0.60)
		(γ_1, σ_1)	(1.4, 41)	(1.5, 48)	(1.7, 51)	(2.1, 56)	(2.2, 59)	(2.6, 60)	(2.9, 60)	(3.6, 60)	(3.8, 60)	(3.9, 60)
		(γ_2, σ_2)	(3.3, 7)	(3.4, 11)	(3.5, 15)	(3.5, 23)	(3.6, 28)	(3.6, 36)	(3.7, 41)	(3.7, 57)	—	—
	Compressive stiffness	[×10 ³ kN/m]	2440	2840	3200	3760	4190	4760	5280	6680	7990	11100
	Nominal long term compressive stress	[N/mm ²]	10.4	12.0	13.1	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0
	Nominal long term column load	[kN]	2940	3970	5040	6620	7540	8510	9540	11800	14200	19900
Shear Properties ($\gamma = 100\%$)	Allowable tensile stress ($\gamma = 100\%$)	[N/mm ²]	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	Initial stiffness	[×10 ³ kN/m]	6.40	7.48	8.47	9.83	11.0	12.4	13.8	17.4	21.0	28.9
	Post yield stiffness ($\gamma = 100\%$)	[×10 ³ kN/m]	0.640	0.748	0.847	0.983	1.10	1.24	1.38	1.74	2.10	2.89
	Characteristic Strength	[kN]	71.5	83.9	97.3	112	127	143	161	199	240	335
	Equivalent shear stiffness	[×10 ³ kN/m]	1.08	1.26	1.43	1.66	1.85	2.09	2.33	2.95	3.55	4.89
	Equivalent damping ratio	[—]	0.240	0.240	0.240	0.240	0.240	0.240	0.240	0.240	0.240	0.240

Specification of flange (edge thickness / center thickness)

Outer diameter of rubber bearing (Ø)*1	[900]	[950]	1000	1100	1200	1300
Standard thickness	28/36	28/36	28/36	30/38	32/40	32/40
Special thickness (option)	[37/45]	[37/45]	42/50	42/50	42/50	42/50

※1 For adoption of special thickness in regard to those sizes that stated in the (), delivery time will be longer due to mold preparation.
 ※2 For Ø1400 and above, assembled type flange will be used.
 ※3 Compared to the standard specification, total height & weight of product for special thickness will be changed.

MVBR-0514/MVBR-0520 (X0.6R)

Note: There are 2 certification numbers due to difference of some manufacturing process.
 Please refer to "Precautions" in page 6 for the certificate number that used for design document.

Code

Compound name	Rubber code	Shear modulus [N/mm ²]	Equivalent damping ratio
X6R	X0.6R	0.620	0.240

●HT Series (Total Rubber Thickness 25cm)

Characteristics		HT090X6R	HT095X6R	HT100X6R	HT110X6R	HT120X6R	HT130X6R	HT140X6R	HT150X6R	HT160X6R
Physical Dimensions	Outer diameter (mm)	900	950	1000	1100	1200	1300	1400	1500	1600
	Inner diameter (mm)	20	20	25	55	55	55	65	65	80
	Effective plane area (×10 ² mm ²)	6359	7085	7849	9480	11286	13249	15361	17638	20056
	Thickness of one rubber layer (mm)	6.0	6.4	6.7	7.4	8.0	8.7	9.5	10.0	10.4
	Number of rubber layers	42	39	37	34	31	29	26	25	24
	Total rubber thickness (mm)	252	250	248	252	248	252	247	250	250
	First shape factor	36.7	36.3	36.4	35.3	35.8	35.8	35.1	35.9	36.5
	Second shape factor	3.57	3.81	4.03	4.37	4.84	5.15	5.67	6.00	6.41
	Diameter of flange (mm)	1250	1300	1400	1500	1600	1700	1800	1900	2000
	Thickness of flange*1 (edge/center)	28/36	28/36	28/36	30/38	32/40	32/40	37/45	42/50	50/110
	Connecting bolt PCD (mm)	1100	1150	1250	1350	1450	1550	1650	1750	1800
	Diameter of connecting bolt hole × qty	Ø33 × 12	Ø33 × 12	Ø39 × 12	Ø39 × 12	Ø39 × 12	Ø39 × 12	Ø42 × 12	Ø42 × 16	Ø45 × 12
	Bolt size (assumption)	M30	M30	M36	M36	M36	M36	M39	M39	M42
	Thickness of each reinforced steel plate (mm)	4.4	4.4	4.4	4.4	4.4	4.4	5.8	5.8	5.8
	Total height (mm)	504.4	488.8	478.3	472.8	460.0	455.5	482.0	489.2	603.0
	Total weight (tonf)	1.73	1.83	2.00	2.34	2.68	3.01	3.90	4.56	7.22
	Total weight (kN)	16.9	18.0	19.6	22.9	26.2	29.5	38.2	44.7	70.8
Compression Properties	Critical stress [N/mm ²]	σ_{cr} when $\gamma = 0$	62	71	80	94	115	127	140	158
	Ultimate compressive stress [N/mm ²]	$\{\gamma_{cr}, \sigma_{cr}\}$	[0.38]	[0.43]	[0.48]	[0.53]	[0.60]	[0.60]	[0.60]	[0.60]
		$\{\gamma_1, \sigma_1\}$	[1.4,38]	[1.5,43]	[1.6,48]	[1.9,53]	[2.3,60]	[2.7,60]	[3.2,60]	[3.8,60]
		$\{\gamma_2, \sigma_2\}$	[3.2,6]	[3.4,8]	[3.4,12]	[3.5,19]	[3.6,30]	[3.6,38]	[3.7,49]	—
	Compressive stiffness	[×10 ³ kN/m]	3530	3960	4420	5240	6340	7310	8640	9830
	Nominal long term compressive stress [N/mm ²]		9.7	11.0	12.2	14.0	15.0	15.0	15.0	15.0
	Nominal long term column load [kN]		6170	7790	9580	13300	16900	19900	23000	30100
Shear Properties ($\gamma = 100\%$)	Allowable tensile stress ($\gamma = 100\%$) [N/mm ²]		1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	Initial stiffness [×10 ³ kN/m]		9.26	10.4	11.6	13.8	16.7	19.3	22.8	29.5
	Post yield stiffness ($\gamma = 100\%$) [×10 ³ kN/m]		0.926	1.04	1.16	1.38	1.67	1.93	2.28	2.95
	Characteristic Strength [kN]		161	179	199	240	285	335	389	507
	Equivalent shear stiffness [×10 ³ kN/m]		1.56	1.76	1.96	2.34	2.82	3.26	3.86	4.98
	Equivalent damping ratio		0.240	0.240	0.240	0.240	0.240	0.240	0.240	0.240

※1 Special thickness for flange is available. Please refer to the table above for more details.

Certification number MVBR-0517

●LL Series (Total Rubber Thickness 16cm)

Characteristics		LL090G4											LL095G4										
		F	E	D	C	B	A	G	H	I	J	K	F	E	D	C	B	A	G	H	I	J	K
Physical Dimensions	Outer diameter (mm)	900											950										
	Lead plug diameter (mm)	130	140	150	160	170	180	190	200	210	220	230	140	150	160	170	180	190	200	210	220	230	240
	Effective plane area (×10 ² mm ²)	6229	6208	6185	6161	6135	6107	6078	6048	6015	5982	5946	6934	6912	6887	6861	6834	6805	6774	6742	6708	6673	6636
	Thickness of one rubber layer (mm)	5.65											6.00										
	Number of rubber layers (—)	30											28										
	Total rubber thickness (mm)	170											168										
	First shape factor (—)	39.8											39.6										
	Second shape factor (—)	5.31											5.65										
	Diameter of flange (mm)	1250											1300										
	Thickness of flange (edge/center) (mm)	28/36											28/36										
	Connecting bolt PCD (mm)	1100											1150										
	Diameter of connecting bolt hole × qty (mm)	Ø 33 × 12											Ø 33 × 12										
	Bolt size (assumption) (—)	M30											M30										
	Thickness of each reinforced steel plate (mm)	4.4											4.4										
	Total height (mm)	369.1											358.8										
Compression Properties	Total weight (tonf)	1.43	1.44	1.44	1.45	1.45	1.46	1.47	1.48	1.48	1.49	1.50	1.53	1.54	1.54	1.55	1.55	1.56	1.57	1.58	1.58	1.59	1.60
	Total weight (kN)	14.0	14.1	14.1	14.2	14.3	14.3	14.4	14.5	14.6	14.6	14.7	15.0	15.1	15.1	15.2	15.2	15.3	15.4	15.5	15.5	15.6	15.7
	Critical stress (N/mm ²)	σ_{cr} when $\gamma = 0$ 89											94										
	Ultimate compressive stress (N/mm ²)	$\{\gamma_0, \sigma_0\}$ (0.00,60)											(0.00,60)										
		$\{\gamma_1, \sigma_1\}$ (1.90,60)											(2.28,60)										
		$\{\gamma_2, \sigma_2\}$ (4.00,29)											(4.00,34)										
	Compressive stiffness (×10 ³ kN/m)	4530											5080										
	Nominal long term compressive stress (N/mm ²)	15.0											15.0										
Shear Properties ($\gamma = 100\%$)	Nominal long term column load (kN)	9340	9310	9280	9240	9200	9160	9120	9070	9020	8970	8920	10400	10400	10300	10300	10300	10200	10200	10100	10100	10000	10000
	Allowable tensile stress ($\gamma = 100\%$) (N/mm ²)	1.0											1.0										
	Initial stiffness (×10 ³ kN/m)	19.0	19.0	19.1	19.1	19.1	19.2	19.2	19.3	19.3	19.4	19.4	21.4	21.4	21.4	21.5	21.5	21.6	21.6	21.6	21.7	21.8	21.8
	Post yield stiffness ($\gamma = 100\%$) (×10 ³ kN/m)	1.46	1.46	1.47	1.47	1.47	1.47	1.48	1.48	1.49	1.49	1.49	1.64	1.65	1.65	1.65	1.65	1.66	1.66	1.67	1.67	1.67	1.68
	Characteristic Strength (kN)	106	123	141	160	181	203	226	250	276	303	331	123	141	160	181	203	226	250	276	303	331	360
	Equivalent shear stiffness (×10 ³ kN/m)	2.08	2.19	2.30	2.41	2.54	2.67	2.81	2.96	3.11	3.28	3.45	2.37	2.48	2.60	2.73	2.86	3.00	3.15	3.31	3.47	3.64	3.82
	Equivalent damping ratio (—)	0.184	0.202	0.219	0.236	0.251	0.266	0.279	0.291	0.302	0.312	0.321	0.189	0.206	0.222	0.238	0.252	0.266	0.278	0.290	0.301	0.310	0.319

Specification of flange (edge thickness / center thickness)

Outer diameter of rubber bearing (Ø)*1	[900]	[950]	1000	1100	1200	1300
Standard thickness	28/36	28/36	28/36	30/38	32/40	32/40
Special thickness (option)	[37/45]	[37/45]	42/50	42/50	42/50	42/50

※1 For adoption of special thickness in regard to those sizes that stated in the (), delivery time will be longer due to mold preparation.
 ※2 For Ø1400 and above, assembled type flange will be used.
 ※3 Compared to the standard specification, total height & weight of product for special thickness will be changed.

Certification number MVBR-0517

Code

Compound name	Rubber code	Shear modulus (N/mm ²)
G4	G0.40	0.385

●LT Series (Total Rubber Thickness 25cm)

Characteristics		LT090G4												LT095G4											
		F	E	D	C	B	A	G	H	I	J	K		F	E	D	C	B	A	G	H	I	J	K	
Physical Dimensions	Outer diameter (mm)	900												950											
	Lead plug diameter (mm)	130	140	150	160	170	180	190	200	210	220	230		140	150	160	170	180	190	200	210	220	230	240	
	Effective plane area (×10 ² mm ²)	6229	6208	6185	6161	6135	6107	6078	6048	6015	5982	5946		6934	6912	6887	6861	6834	6805	6774	6742	6708	6673	6636	
	Thickness of one rubber layer (mm)	6.0												6.4											
	Number of rubber layers (—)	42												39											
	Total rubber thickness (mm)	252												250											
	First shape factor (—)	37.5												37.1											
	Second shape factor (—)	3.57												3.81											
	Diameter of flange (mm)	1250												1300											
	Thickness of flange* (edge/center) (mm)	28/36												28/36											
	Connecting bolt PCD (mm)	1100												1150											
	Diameter of connecting bolt hole × qty (mm)	Ø 33 × 12												Ø 33 × 12											
	Bolt size (assumption) (—)	M30												M30											
	Thickness of each reinforced steel plate (mm)	4.4												4.4											
	Total height (mm)	504.4												488.8											
Compression Properties	Total weight (tonf)	1.77	1.78	1.79	1.80	1.81	1.82	1.83	1.84	1.85	1.86	1.87		1.89	1.89	1.90	1.91	1.92	1.93	1.94	1.95	1.96	1.97	1.99	
	Total weight (kN)	17.4	17.5	17.5	17.6	17.7	17.8	17.9	18.0	18.1	18.2	18.4		18.5	18.6	18.6	18.7	18.8	18.9	19.0	19.1	19.2	19.4	19.5	
	Critical stress (N/mm ²)	σ_{cr} when $\gamma = 0$ 37												43											
	Ultimate compressive stress (N/mm ²)	(γ_0, σ_0) (0.00,37)												(0.00,43)											
		(γ_1, σ_1) (0.00,37)												(0.00,43)											
		(γ_2, σ_2) (3.57,4)												(3.81,4)											
	Compressive stiffness (×10 ³ kN/m)	2980												3340											
	Nominal long term compressive stress (N/mm ²)	8.6												9.6											
	Nominal long term column load (kN)	5340	5330	5310	5290	5260	5240	5220	5190	5160	5130	5100		6680	6660	6640	6610	6590	6560	6530	6500	6470	6430	6400	
	Allowable tensile stress ($\gamma = 100\%$) (N/mm ²)	1.0												1.0											
Shear Properties ($\gamma = 100\%$)	Initial stiffness (×10 ³ kN/m)	12.8	12.8	12.8	12.8	12.9	12.9	12.9	13.0	13.0	13.0	13.1		14.4	14.4	14.4	14.4	14.5	14.5	14.5	14.6	14.6	14.6	14.7	
	Post yield stiffness ($\gamma = 100\%$) (×10 ³ kN/m)	0.982	0.984	0.986	0.988	0.990	0.992	0.994	0.997	0.999	1.00	1.00		1.11	1.11	1.11	1.11	1.11	1.12	1.12	1.12	1.12	1.13	1.13	
	Characteristic Strength (kN)	106	123	141	160	181	203	226	250	276	303	331		123	141	160	181	203	226	250	276	303	331	360	
	Equivalent shear stiffness (×10 ³ kN/m)	1.40	1.47	1.54	1.62	1.71	1.80	1.89	1.99	2.09	2.20	2.32		1.60	1.67	1.75	1.84	1.93	2.02	2.12	2.23	2.34	2.45	2.57	
	Equivalent damping ratio (—)	0.184	0.202	0.219	0.236	0.251	0.266	0.279	0.291	0.302	0.312	0.321		0.189	0.206	0.222	0.238	0.252	0.266	0.278	0.290	0.301	0.310	0.319	

* : Special thickness for flange is available. Please refer to the table above for more details.

Product Specification & Description of Performance Characteristics

High Damping Rubber Bearing (HDR)

Seismic isolation material certification number by Ministry of Land, Infrastructure and Transport, Japan
MVBR-0516 (X0.3R Series) Acquired in December 2014
MVBR-0510/MVBR-0519 (X0.4S Series) Acquired in December 2014
MVBR-0514/MVBR-0520 (X0.6R Series) Acquired in December 2014

●Product Dimension

Characteristics			Sectional View	
Physical Dimensions	Outer diameter	: D_o (mm)		
	Inner diameter	: D_i (mm)		
	Number of inner diameter	: n_i		
	Effective plane area	: A [$\times 10^2 \text{mm}^2$]		
	Thickness of one rubber layer	: t_r (mm)		
	Number of rubber layers	: n		
	Total rubber thickness	: $H = n \cdot t_r$ (mm)		
	First shape factor $S_1 = (D_o^2 \cdot n_i \cdot D_i^2) / \{4 \cdot t_r \cdot (D_o + n_i \cdot D_i)\}$			
	Second shape factor $S_2 = D_o / (n \cdot t_r)$			
	Diameter of flange	: D_f (mm)		
	Thickness of flange: edge/center	: t_e / t_c (mm)		
	Connecting bolt PCD	: PCD (mm)		
	Diameter of connecting bolt hole \times qty	: d_b (mm) \times qty		
	Bolt size [assumption]	: M ($d_b - 3$)		
	Thickness of each reinforced steel plate	: t_s (mm)		
	Total height	: H_t (mm)		
	Total weight 1 [kN] = 1 / 9.80665 [tonf]			

●Rubber Material

Notation of rubber kind (standard temperature 20°C standard strain $\gamma = 100\%$)

Compound name	Rubber code	Shear modulus G_{eq} [N/mm ²]	Equivalent damping ratio H_{eq}
X3R	X0.3R	0.300	0.17
X4S	X0.4S	0.392	0.24
X6R	X0.6R	0.620	0.24

Composition of rubber materials (weight ratio %)

Rubber code		Natural rubber Synthetic rubber	Filler, Reinforcement agent	Vulcanization agent and others
Inner Rubber	X0.3R	35 and above	15 and above	50 and below
	X0.4S	35 and above	20 and above	45 and below
	X0.6R	35 and above	25 and above	40 and below
Cover rubber		40 and above	15 and above	40 and below

Properties of rubber materials

Item	Tensile strength [N/mm ²]	Elongation at Break [%]	Hardness [JIS A]	100% modulus [N/mm ²]	Young's modulus E [N/mm ²]	Bulk modulus E_v [N/mm ²]	Correction factor for apparent Young's modulus according to hardness, k
Test Standard	JIS K6251	JIS K6251	JIS K6253	JIS K6251	—	—	—
Inner Rubber	X0.3R	7 and above	700 and above	34 \pm 8	0.53 \pm 0.2	4.0	1.0
	X0.4S	7 and above	840 and above	37 \pm 8	0.43 \pm 0.2	6.2	1.0
	X0.6R	8.5 and above	780 and above	53 \pm 5	0.73 \pm 0.2	7.6	1.0
Cover rubber	12 and above	600 and above	—	—	—	—	—

●Steel Material

Steel material for each part

	Material
Reinforced steel plate	SS400 (JIS G 3101)
Flange ^{*1*2}	SS400 (JIS G 3101)
Connecting plate ^{*1}	SS400 (JIS G 3101)

*1: Optionally SM490A (JIS G 3106).

*2: Optionally special thickness other than standard thickness.

Anti-rust treatment of flange

Preparation	Remove rust up to blasting quality of SSPC-SP-10 (SIS Sa 2 1/2)
Primer	Zinc-rich paint 75 μ m \times 1 coat
Middle coat	Epoxy resin paint 60 μ m \times 1 coat
Finishing	Epoxy resin paint 35 μ m \times 1 coat
Total film thickness	170 μ m and above

*1: Standard color is gray.

*2: Other kinds of anti-rust treatment are also available. Please contact us for more details.

●Precautions

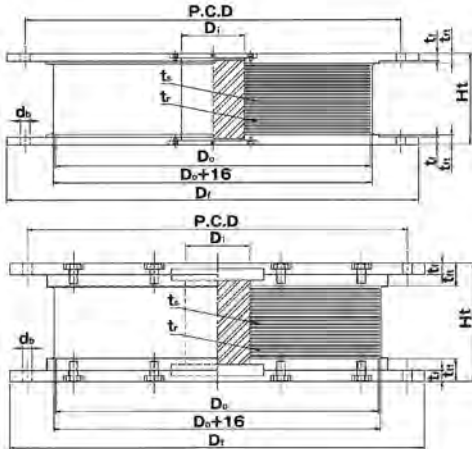
- For mid-storey isolation, fire resistant cover is necessary [according to JSSI provision, HS110X4S cannot apply any fire resistant cover]. Please contact fire resistant cover manufacturer who are listed in the JSSI manufacturer list for more details. (http://www.jssi.or.jp/bussiness/kigyoun_detail/to-si-base.htm)
- There are two certification numbers for X0.4S, X0.6R due to difference of some manufacturing process. Although their properties values are the same, please fill the certification number as shown in the table on the right in the design documents.

	Rubber size ϕ 1000 and below	Rubber size ϕ 1100 and above
X0.4S	Both MVBR-0510/MVBR-0519	MVBR-0510 only
X0.6R	Both MVBR-0514/MVBR-0520	MVBR-0514 only

Lead Rubber Bearing (LRB)

Seismic isolation material certification number by Ministry of Land, Infrastructure and Transport, Japan
MVBR-0517
Acquired in December 2014

●Product Dimension

Characteristics			Sectional View	
Physical Dimensions	Outer diameter	: D_o (mm)		
	Lead plug diameter	: D_i (mm)		
	Number of inner diameter	: $A_r \times 10^2$ (mm ²)		
	Effective plane area	: t_r (mm)		
	Thickness of one rubber layer	: n		
	Number of rubber layers	: $H = n \cdot t_r$ (mm)		
	First shape factor $S_1 = (D_o) / (4 \cdot t_r)$			
	Second shape factor $S_2 = D_o / (n \cdot t_r)$			
	Diameter of flange	: D_i (mm)		
	Thickness of flange: edge/center	: t_e / t_r (mm)		
	Connecting bolt PCD	: PCD (mm)		
	Diameter of connecting bolt hole \times qty	: d_b (mm) \times qty		
	Bolt size [assumption]	: $M (d_b - 3)$		
	Thickness of each reinforced steel plate	: t_e (mm)		
	Total height	: H_t (mm)		
	Total weight 1 [kN] = 1/9.80665 [tonf]			

●Rubber Material

Notation of rubber kind [standard temperature 20°C standard strain $\gamma = 100\%$]

Compound name	Rubber code	Shear modulus G_{eq} [N/mm ²]
G4	G0.4	0.385

Composition of rubber materials (weight ratio %)

Rubber code	Natural rubber Synthetic rubber	Filler, Reinforcement agent	Vulcanization agent and others
Inner rubber (G0.4)	60 and above	10 and above	25 and below
Cover rubber	40 and above	15 and above	40 and below

Properties of rubber materials

Item	Tensile strength [N/mm ²]	Elongation at Break [%]	Hardness [JIS A]	100% modulus [N/mm ²]	Young's modulus E [N/mm ²]	Bulk modulus E _b [N/mm ²]	Correction factor for apparent Young's modulus according to hardness, k
Test Standard	JIS K6251	JIS K6251	JIS K6253	JIS K6251	—	—	—
Inner rubber	17 and above	600 and above	37 \pm 5	0.8 \pm 0.2	2.20	1176	0.85
Cover rubber	12 and above	600 and above	—	—	—	—	—

●Steel Material

Steel material for each part

	Material
Reinforced steel plate	SS400 [JIS G 3101]
Flange ^{*1,2}	SS400 [JIS G 3101]
Connecting plate ^{*1}	SS400 [JIS G 3101]
Lead plug	Pb [JIS H 2105 special]

*1: Optionally SM490A [JIS G 3106].

*2: Optionally special thickness other than standard thickness.

Anti-rust treatment of flange

Preparation	Remove rust up to blasting quality of SSPC-SP-10 [SIS Sa 2 1/2]
Primer	Zinc-rich paint 75 μ m \times 1 coat
Middle coat	Epoxy resin paint 60 μ m \times 1 coat
Finishing	Epoxy resin paint 35 μ m \times 1 coat
Total film thickness	170 μ m and above

*1: Standard color is gray.

*2: Other kinds of anti-rust treatment are also available. Please contact us for more details.

●Precautions

- Due to the lead plug embedded in the center of the laminated rubber body, special treatment is required in case the laminated rubber bearing is to be treated as industrial waste, depending on country. Please confirm with the country's regulation.
- For mid-storey isolation, fire resistant cover is necessary. Please check with fire resistant cover manufacturer who are listed in the JSSI manufacturer list for more details. (http://www.jssi.or.jp/bussiness/kigyoun_detail/to-si-base.htm)








Form AK/TA-04
rev01

PROGRAM STUDI S-1 JURUSAN TEKNIK SIPIL FTSP - ITS
LEMBAR KEGIATAN ASISTENSI TUGAS AKHIR (WAJIB DIISI)

Jurusan Teknik Sipil It.2, Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111
Telp.031-5946094, Fax.031-5947284



NAMA PEMBIMBING	: Prof. Tawio, S.T, M.T, Ph.D.
NAMA MAHASISWA	: Fahmi Abdulqaziz
NRP	: 211860021
JUDUL TUGAS AKHIR	: Perencanaan struktur Gedung Grand Dhika City menggunakan Base Isolator dengan Nonlinear Time History Analysis
TANGGAL PROPOSAL	:
NO. SP-MMTA	:

NO	TANGGAL	KEGIATAN		PARAF ASISTEN
		REALISASI	RENCANA MINGGU DEPAN	
1			Permodelan di ETABS Preliminary	
2	11/5/2017	Permodelan di ETABS Struktur Sekunder	Perbaikan Permodelan	   







PROGRAM STUDI S-1 JURUSAN TEKNIK SIPIL FTSP - ITS
LEMBAR KEGIATAN ASISTENSI TUGAS AKHIR (WAJIB DIISI)

Jurusan Teknik Sipil lt.2, Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111
Telp.031-5946094, Fax.031-5947284



NAMA PEMBIMBING	Dr. Ir. Hidarat Saegihardjo, MS.
NAMA MAHASISWA	Fahni Abdula2.2
NRP	311360021
JUDUL TUGAS AKHIR	Petencanaan Modifikasi Struktur Gedung Grand Duka City Menggunakan Bat Isolasi dengan Nonlinear time history Analysis
TANGGAL PROPOSAL	
NO. SP. MMTA	

NO	TANGGAL	KEGIATAN		PARAF ASISTEN
		REALISASI	RENCANA MINGGU DEPAN	
1.		Diskusi tentang cara perhitungan		
2.	23/5	Permodelan ETABS		
				
				

BIODATA PENULIS

Fahmi Abdulaziz



Lahir di Tangerang pada tanggal 1 september 1995. Penulis merupakan anak ke dua dari tiga bersaudara. Penulis telah menempuh Pendidikan formal di SDIT Thariq Bin Ziyad (2001 – 2007), SMPIT Al Kahfi (2007 – 2010), SMAN 1 Bekasi (2010 – 2013). Pada tahun 2013 penulis melanjutkan Pendidikan sarjana

(S-1) di Jurusan Teknik Sipil Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Penulis mengambil bidang studi struktur dengan judul tugas akhir “**Desain Modifikasi Struktur Gedung Apartemen Grand Dhika City Menggunakan Base Isolator Dengan Nonlinear Time History Analysis**”

Contact person:

Email : afahmi13@live.com